

重度身障者の残存機能を利用する コンピュータ・インターフェイスの研究

Study on computer interface of the physically disabled
using remaining abilities

1997年12月

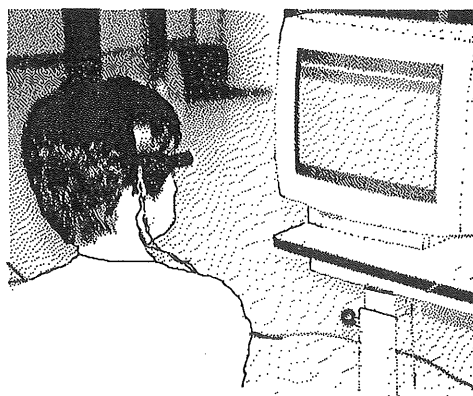
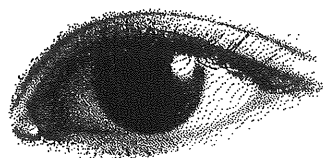
長崎大学大学院
海洋生産科学研究科

高見 修

目次

	ページ
第 1 章 序論	
1. 1 はじめに	1
1. 2 身障者自立支援のための残存機能有効利用に関する研究	3
1. 3 本研究の目的	8
1. 4 本論文の構成	8
第 2 章 眼球運動のコンピュータ・インターフェイスへの応用	
2. 1 はじめに	10
2. 2 観察できる目の構成要素と眼球運動	10
2. 3 眼球運動の挙動と特徴量	11
2. 4 瞳中心の計測手法とその検出精度	17
2. 5 眼球運動のコンピュータ・インターフェイスへの応用	23
2. 6 まとめ	27
第 3 章 眼球運動の残存機能を利用する環境制御装置の実現とその適用	
3. 1 はじめに	29
3. 2 環境制御装置を試作するに当たっての考慮点	29
3. 3 試作した環境制御装置の構成	33
3. 4 フィールドテスト	37
3. 5 まとめ	40
第 4 章 頭部運動のコンピュータ・インターフェイスへの応用	
4. 1 はじめに	42
4. 2 2 台のテレビカメラを用いた頭部姿勢の検出	42
4. 3 顔画像の対称性に着目した、1 台のテレビカメラによる頭部姿勢 の検出	47
4. 4 3 個の L E D を付加した専用眼鏡を用いた頭部姿勢の検出	49
4. 5 光センサを用いたポインティングデバイス	54
4. 6 まとめ	58
第 5 章 頭部運動を利用する文字入力装置の実現とその適用	
5. 1 はじめに	60
5. 2 頭部運動を利用する文字入力装置	60
5. 3 まとめ	63

第 6 章 結 論	
6. 1 眼球運動を有効利用する方法の結論と考察	65
6. 2 頭部運動を有効利用する方法の結論と考察	66
謝 辞	69
参考文献	70
付録 1. 障害者の生活環境へ福祉機器を適合化するために求められる機能	76
付録 2. 眼球運動を利用した環境制御装置アイコントローラの機能一覧	77
付録 3. 眼球運動を利用した環境制御装置のフィールドテスト評価結果の詳細	81
付録 4. 顔が左右を向いたときに視線の向きを補正するための関係式の導出	83
付録 5. 3 個の L E D を付けた頭部姿勢の解析解の導出	84
付録 6. ヒューリスティックなアルゴリズムを用いた場合の 3 個の L E D を付けた頭部姿勢の解析解の導出	85



第1章 序論

1. 1 はじめに

1990年代に入り、人口世代構成に関する各種統計結果の予報が出るに至り、社会の少子・高齢化が明らかになった^{1,2)}。これらによると、わが国の65歳以上の高齢者の割合は、現在の15%から2020年には約25%となり、4人に1人の割合になることが示されている。逆に15～64歳の勤労世代の割合は減少し、男女全員全てが働くとして勤労世代約2.3人で高齢者1人を養う社会になることを指摘している。また、身体障害者数は、現在約250万人で、その中で65歳以上の高齢者の占める割合は約44%であり、必然的に今後増えることが予想される。寝たきり者も2020年には約200万人に達すると予想されている^{3,4,5)}。

そこで指摘される問題は、相対的に絶対的にも増加する寝たきり老人を始めとする障害者の介護と生活の質を確保するための自立支援の方策であった。障害者の介護、自立のための支援機器の必要性が社会的に大きく認識されだした。これらを踏まえ、国は厚生省及び通商産業省の共管の法律として、「福祉用具の研究開発及び普及の促進に関する法律」(福祉用具法)を1993年公布施行した⁶⁾。この法律は、これまでの障害者の生活を支える福祉機器の開発と利用の促進制度の欠如を指摘し、福祉機器の重要性和利用の有効性を認め、厚生省には、福祉用具の開発、普及体制の整備を求め、介護実習・普及センターや在宅介護支援センターの設置推進を指示し、そして通産省には、先端医療機器の開発にほぼ限られていた関係する研究開発の推進施策に、福祉用具の研究開発を重点的に促進することを求めるものであった。この法律を受け、福祉用具実用化開発費助成金制度など、実用製品開発を重視する開発支援制度が各種新設追加された。機器開発に関して、通産省関係で16制度、厚生省関係で1制度が利用可能となった^{7,8)}。

福祉支援のための機器分野は、人の複雑高度な諸機能の代替実現を要することと、また障害者の個別性への対応を要するために、これまで技術的にも、マーケット的にも開発が遅れている分野である⁹⁾。障害者が使える道具が少ないため、生活を幾ばくでも支えるために障害者の家族は、いろいろと道具を手作りで工夫してきた^{10,11,12,13)}。また、地域の障害者のためのもの作りをしてきたのが、各地の工房を営む技術者であるが、彼等の開口一番の言葉を借りると、“障害者が実際に使える道具は少なく、簡単なものしかない。障害のレベルに対応する必要があるためでもあるが、ローテクの世界で仕事をしている。ハイテクが利用できないものか”。近視の人は、ハンディ

キャップがあることに違いないが、眼鏡を掛けることでまずは日常生活に困ることはない。このように、障害のある人にそれぞれのハンディキャップを克服する道具があれば、健常者と同様の生活、活動を送ることができる。障害者が自立した生活を送れると、介護者の負担は軽減され、流行言葉になった介護の共倒れも緩和される。しかしながら、現実に使われている福祉機器としては、車椅子等の例外はあるが、足によるフットスイッチ、マウススティック(口にくわえた棒)によるキーボードの打鍵、呼吸によるナースコール等足、口、息等種々の残存機能(動作可能として残った身体運動機能)を利用した簡単な機器が使われている程度に過ぎない。肢体不自由者、寝たきり者の数はわが国で約150万人と約100万人であり¹⁴⁾、全身の筋肉が徐々に機能しなくなり死に至るALS (Amyotrophic Lateral Sclerosis: 筋萎縮症側索硬化症)の患者は、全国で約4000人存在する。“障害の発生後、これまで何のコミュニケーションもとれていない。目は動くのでこれを使って会話がしたい。”と言われる主婦の方、“まぶたの動きを利用した市販の装置は使えなかった。”と言って来られた方、マウススティックを使ってベッド上に設置したキーボードを半日かかって打って、電子メールを送って来られた方、また寝たきり病棟で何も言えず、ナースコールも押せないお年寄りの方々、これらの方々の悲痛な声に応えられる装置はなくてはならないものに違いない。このような重度の障害者が幾分でも自立した生活を送るために身のまわりの生活機器の操作また意志伝達を仲介する装置として、環境制御装置(Environmental Control System)がある¹⁵⁾。現在、この装置の完成度はまだ低く、障害者が残存機能を使って操作したいスイッチのON/OFFを単に10チャンネル程度、必要機器に仲介するのみの装置である¹⁶⁾。

このような状況を考えたとき、コンピュータの役割は大きい。障害者がその意思をコンピュータに伝えられるとすると、情報の受け渡し等精神活動の大半は自立可能となる。インターネットの進展、各種機器のコンピュータ化を考慮すると、今後その果たす役割はますます拡大できると推測される^{17, 18, 19)}。

障害者が、残存機能を利用してコンピュータへの入力を行う場合、コンピュータディスプレイ上でのポインティングを効率良く行うことが重要である。接近せずに操作できることが障害者の負担を軽減する。このための残存機能としては、ALS患者のような寝たきりとなる重度障害者の場合、障害が進行しても最後まで残ると言われる目の動きを利用できると都合がよい。また、手足が不自由な人の場合は、頭の動き(向き)が利用できると都合がよい。四肢麻痺者のポテンシャルは、健常者と同じように高いのに、現状では身のまわりの道具を使うのに適切な支援機器がないためにハンディキャップとなっている。頭部運動の残存機能を利用することは、ADL (Activities of Daily Living、日常生活動作)の高い彼等にとって非常に都合の良い方法である²⁰⁾。

ボタンを叩くなどは彼等にとって非常に負担が大きい。彼等は、接近して作業がするのが難しい。非接触で遠隔操作ができると、彼等の多彩な能力が発揮できる。彼等の操作の目標とする対象は、アプリケーションソフトの操作である。頭が動かせる障害者は、不自由なりに移動、会話ができる。求められるのが、社会参加の手立てである。そのために、コンピュータマウスに代表されるポインティングデバイスに代替できる道具が望まれる²¹⁾。近年のアプリケーションソフトの操作は、ポインティングデバイスなしには考えられないという現状がある。

1. 2 身障害者自立支援のための残存機能有効利用に関する研究

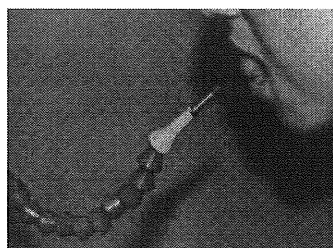
[残存機能を利用する身障害者支援機器]

障害者の日常生活において、意思の伝達つまりコミュニケーションと身のまわりの機器の操作ができることが大変重要である。残存機能を利用する身障害者支援機器もこの分野で発展してきた。

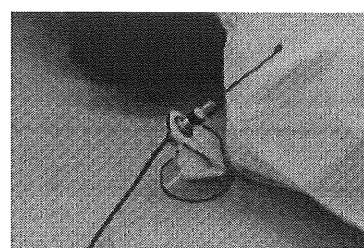
肢体不自由者のコミュニケーション手段は、近年まで会話以外は皆無であった。欧米で筆記用具として一般的なタイプライタを残存機能で利用できるように工夫したことが、コミュニケーション支援機器の開発の始まりであった²³⁾。物理学者のS.W.ホーキング博士は、ALSのため、指先がかすかに動くだけであるが、その動きで電動車椅子に搭載した専用のパソコンを使い、予め作成しておいた文章と音声合成装置を使



(a)押しボタンスイッチ



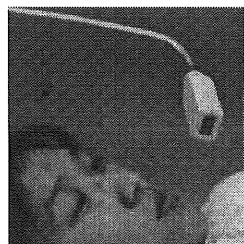
(b)タッチスイッチ



(c)リミットスイッチ



(d)筋電スイッチ



(e)呼気スイッチ



(f)瞬きセンサ

図 1.1 各種操作スイッチの例 (参考文献 25)より)

い話することができることは、残存機能の有効利用の例として有名である²⁴⁾。コミュニケーション支援機器、身のまわりの各種機器、パーソナルコンピュータを利用するために、障害者と機器を繋ぐ操作スイッチ、入力装置について、開発の現状を述べる。

細かなボタン、キーボードを打てない肢体不自由者が機器の使用を可能にするのが、操作スイッチである。操作スイッチには、身体各部の動作に応じて以下のものがある。

足、肩、肘、頭等の押す動作を使う大型の押しボタンスイッチ、指先、舌先、皮膚接触の触れる動作で作動するスイッチ、曲げる動作で使うテープまたは板状のスイッチがある。その他に、電極を筋肉に貼り、筋を動かすときに出る筋電位を検出するスイッチ、息を吹付けるもしくは吸うスイッチ、声を発するもの、マウスピースをくわえ噛むもの、眼鏡に付けた赤外線センサにより瞬きを検出するもの、振動を検出するものがある。それぞれに押しボタンスイッチ、プレートスイッチ、リミットスイッチ、ブロースイッチ、触覚スイッチ、タッチスイッチ、テープスイッチ、筋電スイッチ、呼気スイッチ、マイクスイッチ、瞬きセンサ等と呼ばれている²⁵⁾。指先の細かな動作ができない人が、身のまわりの電気製品、例えば、テレビ、ラジオ、電灯、扇風機、エアコン、電動ベッド、ナースコール、緊急電話等の操作を行うために、各種スイッチが開発されてきた。代表的なものを図 1.1 に示す。

パソコンを操作するためには、長めの棒を口にくわえて操作するマウススティックが用いられる。軽い障害者は、大判のキーボードを用いるのが一般的である²⁰⁾。

これらのスイッチを使って、声の出る文字盤の 50 音文字キーを押してメッセージを作るトーキングエイド、瞬きセンサを使う目で打つワープロが、コミュニケーション



図 1.2 マウススティックによるパソコン操作の例（参考文献 20)より）



図 1.3 足指によるキーボード操作の例（参考文献 20)より）

機器として有名である²⁶⁾。しかしながら、スイッチでの ON/OFF 操作を用いるため一連の操作に非常に時間がかかること、1回のスイッチ操作にも負担が大きいのが課題である。

これらの操作スイッチを利用して、より多くの機器を一括して操作できるようにしたのが環境制御装置である。操作は、表示器に描かれた電気製品の図や文字の部分にあるランプを見ながら、操作スイッチで目的の位置までランプの点灯を送り、目的のランプが点灯したところで、さらにスイッチを働かせ、電気製品を作動させる¹⁵⁾。

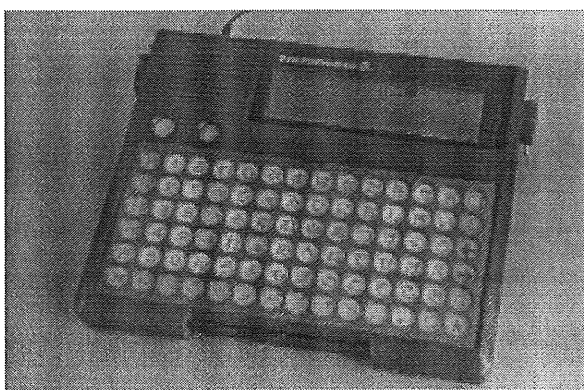


図 1.4 障害者用キーボード
(参考文献 25)より)

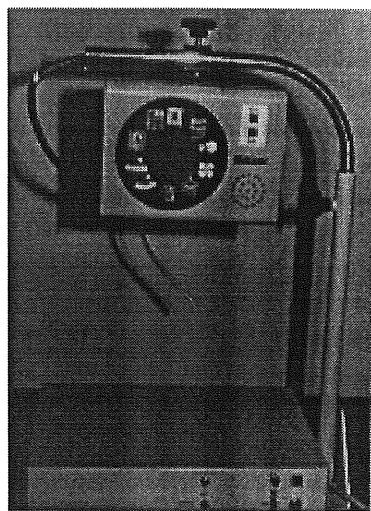


図 1.5 環境制御装置の例
(参考文献 27)より)

重度の四肢麻痺者やALS(筋萎縮性側索硬化症)等の難病患者が、身のまわりの電気製品を、残存機能を利用してコントロールする機器を環境制御装置と呼ぶ。環境制御装置は、本人や家族の精神的・身体的負担の軽減を少しでも図るために、1960年代初頭にイギリスで開発が始まり、その後、欧米等で広まり、開発・普及してきている。わが国では、1979年に国内のリハビリテーション関連の有志による研究開発連絡協議会が発足している¹⁵⁾。

現状の環境制御装置は、電気製品の ON/OFF 操作が主な機能であるが、以下に記すように段階的に発展することが予想され、その発展が待たれている。そして何よりも楽に簡単に操作できることが望まれている。

- (1)介護依頼：生理的欲求(苦しい、排せつ物、痒い、水、食事等)の依頼
- (2)環境調節：明るさ、通気、気温、電動ベッドの操作
- (3)娯楽：テレビ、ラジオ
- (4)コミュニケーション：ワープロ(日記、作文)、パソコン通信、インターネット
- (5)就労：コンピュータアクセスによる就労

[目の運動の利用]

目の運動は、眼球の運動(視線の向き)と瞼の運動(瞬き、閉眼)におおよそ分けられ、その利用が考えられる。

瞼の開閉は、昔から言葉がしゃべれず、四肢麻痺の重い障害者がベッドの中から、介護者の問いかけの応答に使ったことが知られている。瞼を開けられない障害者以外では、明確な意志表示手段となっており²⁸⁾、近年では、瞬きセンサが広く流通している。

瞬きセンサの仕組みは、赤外線ビームを眼孔に入射し、瞼の開閉に伴うのビーム光の反射強度の差を検出するもので、操作者は光照射用、反射光受光用の各素子を組付けた専用の眼鏡を掛けて利用する²⁶⁾。但し、正確に装着する必要がある、汗などでのズレを介護者がこまめに調整することが不可欠で、全ての人がまた長時間、使えるものでもない。しばらく新たな方式が出ていなかったが、最近小さな磁石を瞼に取り付け、瞼の開閉に伴う磁力の変化を利用する開発例が現われた²⁹⁾。

眼球運動も、障害者が望みの物を見つめ、介護者がその意図を知るということに広く使われている。眼球運動の自動検出は、医療、物体認知の分野の研究で盛んに行われている^{31,32,33,34,35)}。しかし、殆どのものがヘルメット状の測定器を装着し、正確な調整を要するために、障害者に負担をかけずに長時間自由に使える福祉機器として完成されたものは、現在存在していないといえる。

眼球運動の従来からの計測法としては、E O G法(electro-oculography)、サーチコイル法、角膜反射法等がある。E O G法は、眼球を間に水平と垂直方向に貼った電極からの電位差を測り、その運動を検出する。比較的簡単であるが精度はあまりよくなく、ドリフトも避けられない。サーチコイル法は、サーチコイルを組み込んだコンタクトレンズを装着し、交流磁場のなかで眼の回転角に比例した信号を取り出し、精度がよく眼球運動を検出できる。角膜反射法は、ビーム光を眼に入れ、その角膜反射像の位置と瞳孔中心の位置の差が眼球回転角に比例することを利用する^{36,37)}。

これらが視線検出を行うこれまでの主な方式であるが、これらは電極、検出器具の正確な装着を必要とする。このため、従来装置化され広まったものは少なく、赤外線ビームによる角膜反射法を用いる視線分析装置アイカメラがあるにすぎない。最近、視線検出機能をファインダに組み込んだカメラが製品化されたが、これも角膜反射法を用いる³⁸⁾。下町他がロボットアームの制御に応用した方式も角膜反射法である³⁹⁾。赤外線照明と赤外線テレビカメラを用いた視線追跡装置が米国で開発された^{40,41)}。使用者は、何等器具の装着を必要としないが、明るい環境での使用に課題がある。バーチャルリアリティの研究で視線検出が盛んになってきたが、これもヘッドマウントディスプレイに小型のCCD-TVカメラを組み込んだの角膜反射法がほとんどである。

福祉機器として利用するためにいろいろな開発が取り組まれてきたが^{42,43,44,45,46,47,48}、正確な使用者への装着を必要とするものは適用が難しく、米国で開発された視線追跡装置と、上述のカメラ用に開発した機構をヘッドマウントディスプレイに新たに小型化して組み込む開発中の装置がある程度である。これらは、環境制御装置に組み合わせて使うが、視線検出器と別途に用意したディスプレイモニタ上に表示した操作項目を視線の向きで選択するようになっている。

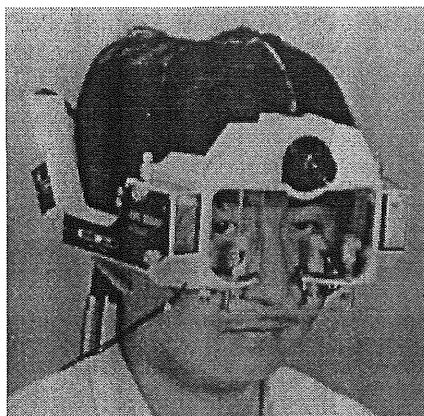


図 1.6 眼球運動計測の例
(参考文献 37)より)

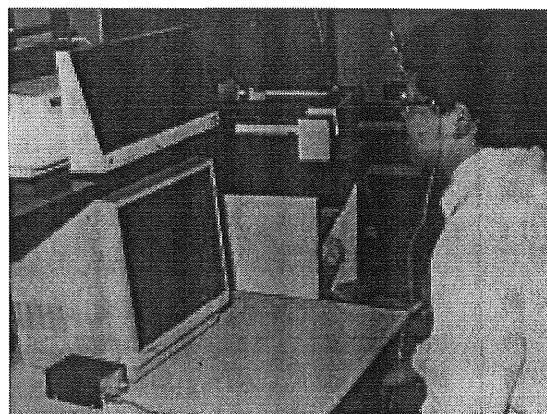


図 1.7 レーザ光線による指示
(参考文献 27)より)

〔頭部運動の利用〕

福祉機器への頭部運動の利用としては、レーザ光線発信器を頭部に付け、文字もしくは操作項目を書いたボード上をレーザビームで指し示すことが行われた^{49,50}。近年では、電磁コイルを用いた方式、磁力によるもの、超音波センサを用いたもの、赤外線反射板を頭部に付ける方式があり、利用可能となっている^{51,52}。バーチャルリアリティ分野で開発を活発化している^{53,54,55}。これらは、使用者の頭部へマーカーとなる器具の装着とマーカーを検出するための本体装置が必要で簡便な装置という訳にはいかない。最近では、小型軽量の装着で済む装置の開発が出てきている。これは、小型軽量の赤外線発信器を装着し、検出器をディスプレイモニタ上に配置し、コンピュータ・マウスの代替をはかる⁵⁶。

器具の装着を必要としないものとしては、顔画像の特徴抽出による顔の向き検出の研究がある。画像処理を用いるものは、リアルタイム性に難があるために、福祉機器への製品応用例は今のところない。

[その他の生体信号の利用]

その他の生体信号の利用として、いろいろなものが利用可能で⁵⁷⁾、実際使われているが、今後注目されるものについてのみ列記する。

脳波の利用がある。人の意図を反映する事象関連電位(Event-Related Brain Potentials)の利用に可能性があり、認知した直後に発生する P300 成分に着目したもの、運動開始直前に発生する運動準備電位に着目したもの等が研究されている^{58,59,60,61,62)}。現在は、操作者の意図を示す信号(脳波成分)の抽出と操作者の意図を脳波に反映させる誘導方法の開発が進められている^{63,64)}。この方式に注目するのは、最重度の障害者とのコミュニケーションをはかれる可能性があるためである。

1. 3 本研究の目的

上述のように、障害者が日々の生活を送る上で満足できる自立支援のための福祉機器が開発されていない状況を考慮して、その自立の大きな手立てとなるコンピュータへの入力を可能とする、インターフェイスの実現を本研究の目的とする。利用する残存機能として、障害がかなり進行しても最後まで残る機能といわれる目の運動機能、そして、四肢の障害者や初期のALS患者が有するポインティング機能に適した頭部の運動機能を取り上げる。

このために、本研究では、目の運動、頭部の運動の計測方法の確立と、障害者の意思を表わす動きの認識方法の確立、検出した信号をコンピュータに繋ぐインターフェイスの開発を行い、そして環境制御装置等の福祉支援装置の適用をはかる。

研究の方針として、障害者へのセンサ等の装着を極力減らし、負担が軽く、長時間使え、介護者の補助を必要とせず、またベッドサイドで使え、使用者が変わっても簡単に対応でき、持ち運びが自由にできるコンパクトな装置の実現を目指した。

1. 4 本論文の構成

本論文は6章で構成されている。以下に各章の概要を示す。

第2章では、視線以外の意思表示能力を有さない障害者の支援機器開発のために、眼球運動の挙動を顔画像の観察から分析し、障害者の負担となる器具の装着のない画像計測法で、障害者が眼球運動でコンピュータに入力することの可能性について明らかにする。

眼球運動の中で、左右を見る視線の向きとまぶたの開閉が利用できることを検証し、視線の向きを検出する場合にポイントになる瞳中心の検出手法を提案し、その精度を述べる。そして、コンピュータに入力するために、顔画像から目の注目領域を抽出する方法、障害者の操作を可能にするアルゴリズムを提案し、実験システムによる評価を行い、入力が可能であることを示す。

第3章では、前章の結果に基づき、眼球運動の残存機能を利用して身のまわりの電気製品の操作及び意思伝達を可能とする環境制御装置の実現について述べる。障害者がその生活環境の中で使用することを考察し、実現のために開発した種々の工夫と作成した装置について述べる。重度障害者、最重度のALSの在宅患者による試験結果を示し、その有効性を示す。

第4章では、上肢・上腕等の障害者のために、頭部の向きでコンピュータディスプレイに表示される文字やメニューを選択する方法について検討した。頭部運動を検出する方法として、2台のテレビカメラを用いた三角測量に基づく検出方法、顔画像対称性(目、鼻、眉毛等が左右対称であること)に着目した1台のテレビカメラによる検出方法、3個のLEDを付加した専用眼鏡を用いた検出方法、光センサをポインティングデバイスに利用したもの4方法を提案し、その得失を議論し、障害者用コンピュータ・インターフェイスとしての可能性について述べる。顔画像の特徴点を積極的に利用し、器具の装着を必要としない2方法と、小型軽量ではあるが検出デバイスを必要とする2方法について、それぞれにそれらの検出方法と、試作装置による検出精度を示した。それぞれにコンピュータに入力を行うのに足りる頭部運動を検出可能であることを示すが、後半の2方法が障害者用としての可能性が高いことを述べる。

第5章では、前章の結果を、文字入力装置としてまとめ、障害者による評価を行った結果を述べる。小型軽量の検出デバイスを用いた2方法によるものが、操作性が高く実用可能であることを明らかにする。

最後に第6章では、全体の考察、結論について述べる。

第2章 眼球運動のコンピュータ・インターフェイスへの応用

2.1 はじめに

重度の障害者は、目を使って自分の意思を表現している。目の運動のなかで、意思を持って動かせる運動は、瞼の開閉と、上下左右、回旋、寄り目等の眼球運動が上げられる。

本章では、障害者が健常者と同様に、ディスプレイモニタに向かい合い、表示された項目を視線で追い、コンピュータと対話することを目的に、眼球の上下左右運動を観察した。眼球の運動を評価するとともに、自動計測に必要な目の各種特徴点の評価を試みた。

視線の向きをコンピュータ・インターフェイスに利用するときポイントになるのが、瞳の動きをいかに精度良く検出するかである。画像処理によってどの程度正確に、瞳中心の動きが抽出されるかを考察する。瞳中心を検出する方法を2手法提案し、その検出精度を評価する。

そして、コンピュータ・インターフェイスへ応用するために、顔画像から、目の注目領域の自動抽出の方法と、引き続いて瞳中心の検出を通して、視線の向きの決定方法、そしてコンピュータへの視線の向きとまぶたの開閉を用いた入力方法について述べる。

なお、本章で画像処理を行う対象とする画像は、両目部分を含む、顔の額から顎までを撮像したものとする。これは、コンピュータ・インターフェイスへの応用を考えた場合に、左右どちらの目でも操作できることが望ましいこと、両目での操作も有り得ること、また顔の動きがあることを考慮したためである。

2.2 観察できる目の構成要素と眼球運動

眼球運動の挙動の観察に入る前に、眼球の構造と各部の名称について述べる。

図2.1に眼球の模式図を示す。眼球は直径約24mmの球形で、外側の大部分は、強膜(sclera)と呼ばれる厚さ約1mmの白い丈夫な結合組織でできている。前面の眼裂の間に透明な角膜(cornea、俗にいう黒目)と結膜で覆われた強膜(俗にいう白目)が見える。角膜を通して眼球内の一部、眼の色の付いた虹彩(iris)と、虹彩で囲まれた中央の黒い

開口部である瞳孔(pupil)が見える。虹彩にある平滑筋は、自律神経の作用で収縮、弛緩し、瞳孔の大きさを変える。虹彩の色は、色素含有量によって異なり茶目や青目となる。瞳孔の大きさは、青年期に最も大きく、老人、幼児で小さい。通常室内で5mm前後の径を持っている^{65,66,67)}。

眼球の外側には、6つの筋肉(上下左右の4つの直筋及び上斜筋、下斜筋)があり、この筋肉によって眼を上下、左右に動かしたり、わずかの角度だけ眼を回転させたりすることができるようになっている。

瞬きは、上眼けん挙筋と眼輪筋の活動により起こり、瞬きの回数は毎分15回、持続時間は300～400msと言われている。

日常生活に於ける眼球運動には、2つの成分があり、それは注視(fixation)と飛越運動(saccade)と分類されている。注視とは、ごく短時間、眼球が停留して画像のある一部分に焦点が合っている状態で、1回の注視は200～500ミリ秒間持続し、視角にして1～5度の範囲内の情報を処理する。注視と注視の間には、素早い一瞬の眼球の運動、すなわち飛越運動が行われ、この間に眼の焦点は、画像の新たな部分に移されるといふ。

瞳は、狭義には瞳孔をいうが本論文では虹彩と瞳孔を合わせた部分を瞳と呼んだ。また眼球の飛越運動は、通常のTVカメラによる観察では捉えられないので、注視を行う眼球運動を取り扱うことにする。

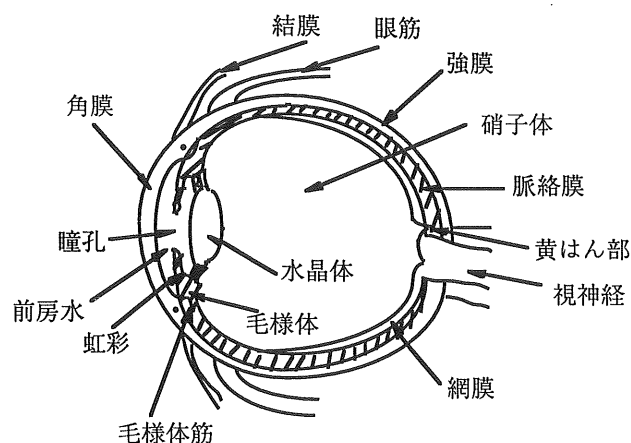


図 2.1 眼球の水平断面図の模式図

2. 3 眼球の挙動と特徴量

眼球の動きを利用するために、まずその動きがどの程度のものなのか、どういう特

徴があるのか、また画像計測による認識には特徴量としてどのようなパラメータが選べるかを知るために予備実験を行った。図 2.2 にその観測系を示す。

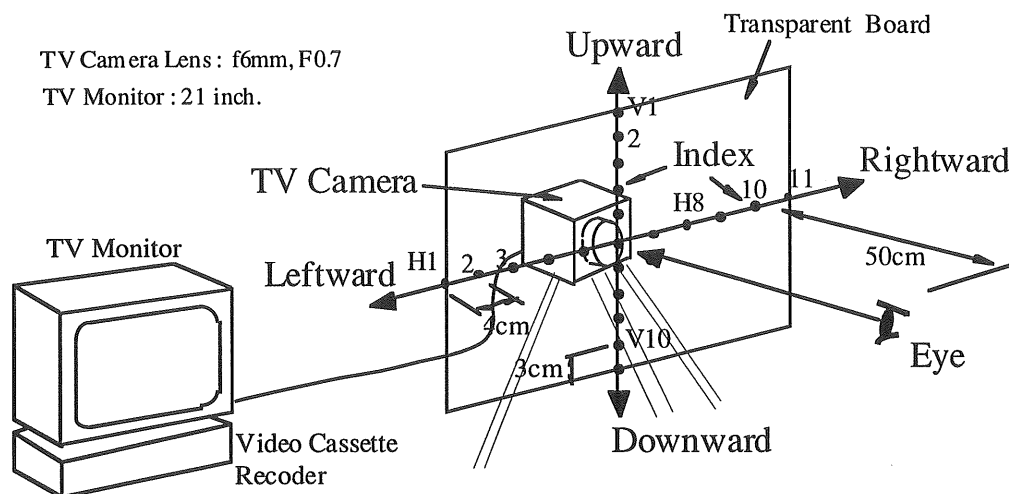


図 2.2 目・眼球の動きを分析するための観測系

[眼球の挙動]

ディスプレイモニタと向かい合ったときの視点の動きを知る必要があるために、顔の前 50cm の距離に視標を水平方向に 4cm 間隔、上下方向に 3cm 間隔で付けた透明板(アクリル板)を置き、その中央背面に TV カメラを配し、被験者は透明板に対向し、顔を動かさないようにして目だけの動きとして、透明板上の指標を上下左右に見ることを行った。各視標を見たときの視点の一連の動きを VTR にて録画し、この録画データを解析した。その結果を以下に示す。

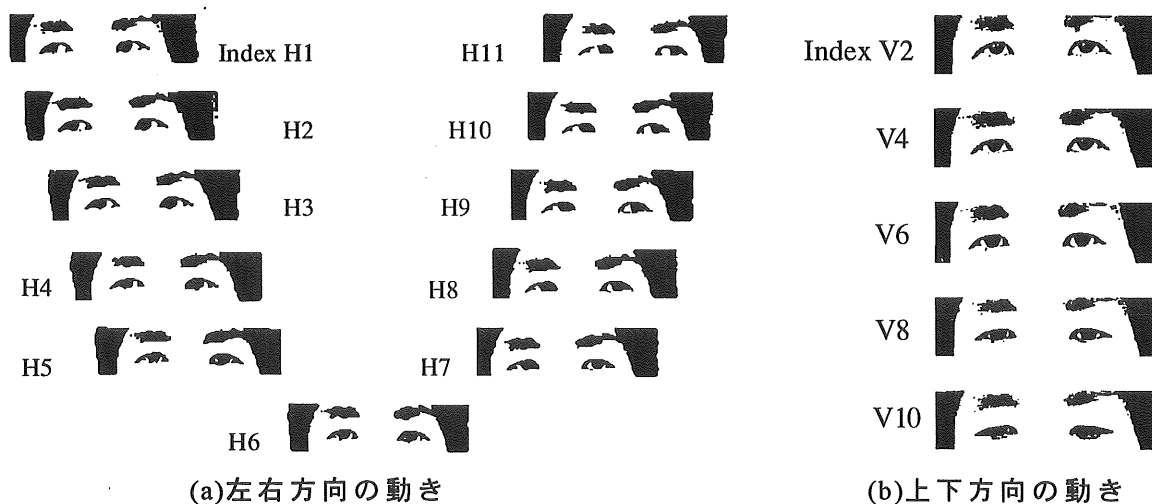


図 2.3 視点の動き

図 2.3 に視点の動きの一連の撮影画像を示す。図 2.4 は、参考として目一杯向いたときの目の形状を示す。

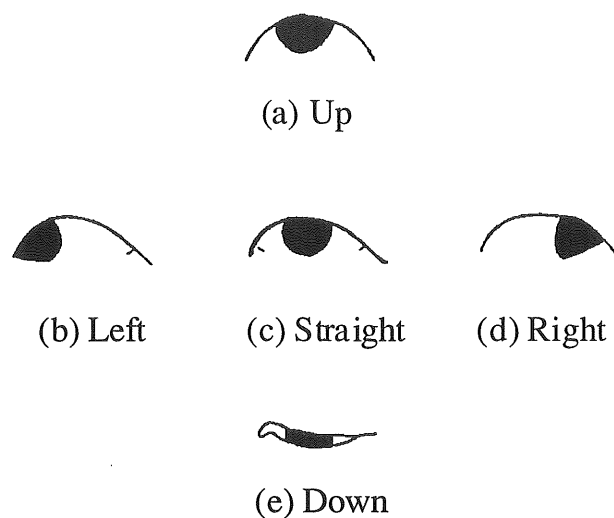


図 2.4 眼球の動き(目一杯向いたときの目の形状)

ここで目上端、目下端、瞳中心を、図 2.5 の模式図で示すように、画面上でまつげの部分の最上方、瞳の最下方（下瞼の最下点）、撮像された黒目を円と仮定し、1 番大きい径の中間点としてそれぞれ決めた。各点の移動量は、内眼角（瞼の内側の端点）からの実測量を元に、割り出した。図 2.6(a)に瞳中心の動き、図 2.6(b)に目上端の動き、図 2.6(c)に目下端の動きを示す。原点が目元（内眼角）である。なお瞼の外側の端点を外眼角という。

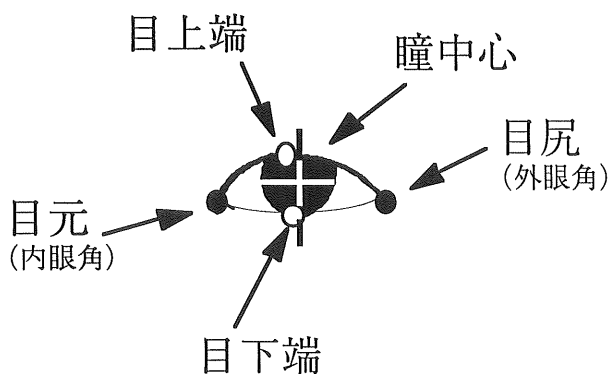
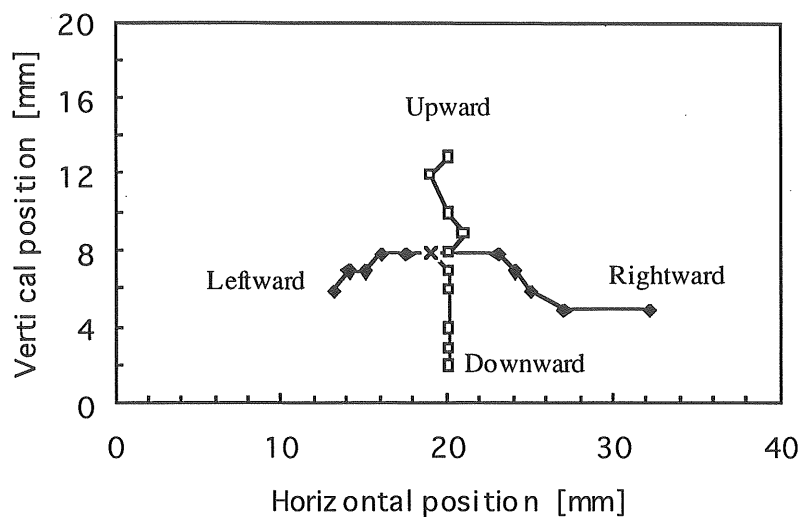
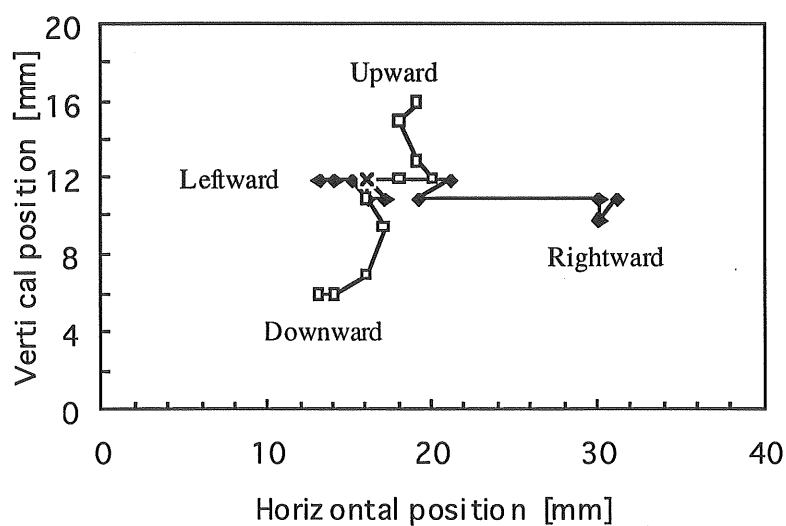


図 2.5 目、眼球の特徴量

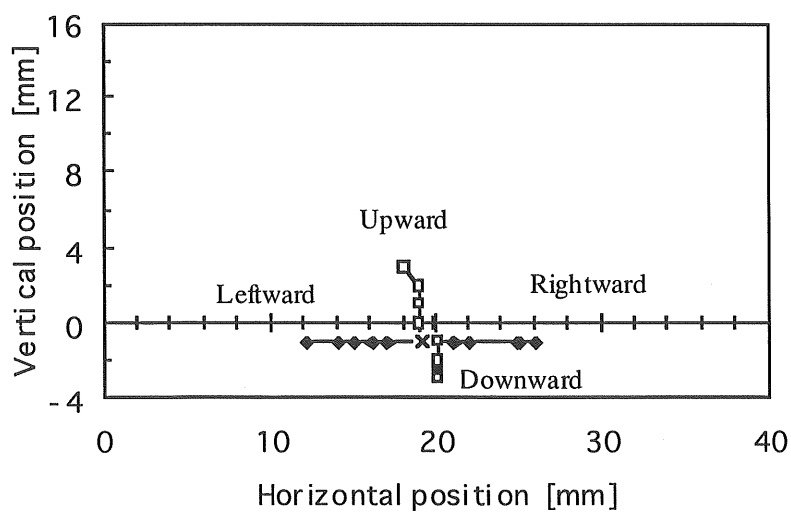
解析結果として、視標に対する各部の動きが部分的に一様に対応しないことはあるが、瞳中心は、目元を基準にして上下左右にほぼ動き、各向きにほぼ対応しているこ



(a) 瞳孔中心の動き



(b) 目上端の動き



(c) 目下端の動き

図 2.6 目の各部の動き

とが分かる。水平方向の各視標間で瞳中心は約 1.2mm ずつ同様に動くことが観測された。図 2.7 は、瞳中心の動きを左右に対しては目元－目尻間で、上下に対しては目上端－下端間の距離で規格化してプロットした図であるが、瞳中心の動きが他の目の特徴点に対して、左右では特に明瞭に現われることが分かる。

この観測系の配置と TV カメラの画角では、顔画像は大人の顔が顎から頭頂部まで全て撮像される。画素構成 512(水平)×256(垂直)の画像処理を考えた場合、水平方向の 1 画素は 1mm 程度に相当し、水平方向の指標を識別できる可能性があると推定される。因にここでの水平方向の指標は 14"ディスプレイモニタでは 9 個配置できる換算となる。また、1 画素の大きさは、水平方向の視線の向きの差異として 0.1 度程度に相当する。

またここでの観測例では、被験体の個性もあると思われるが、目上端（瞼）は、上下を見るに従い、眼球とともに上下する。さらに眼球が上下を向くと瞼は追従できず、眼球が瞼に潜り込むようになる。眼球運動の上下方向を、画像処理にて検出しようとすると、瞼の影響が大きいので検出できる向きの範囲が、狭められる。また、体調が悪くないと瞼が下り、細目になるため、検出は困難になることが予想される。

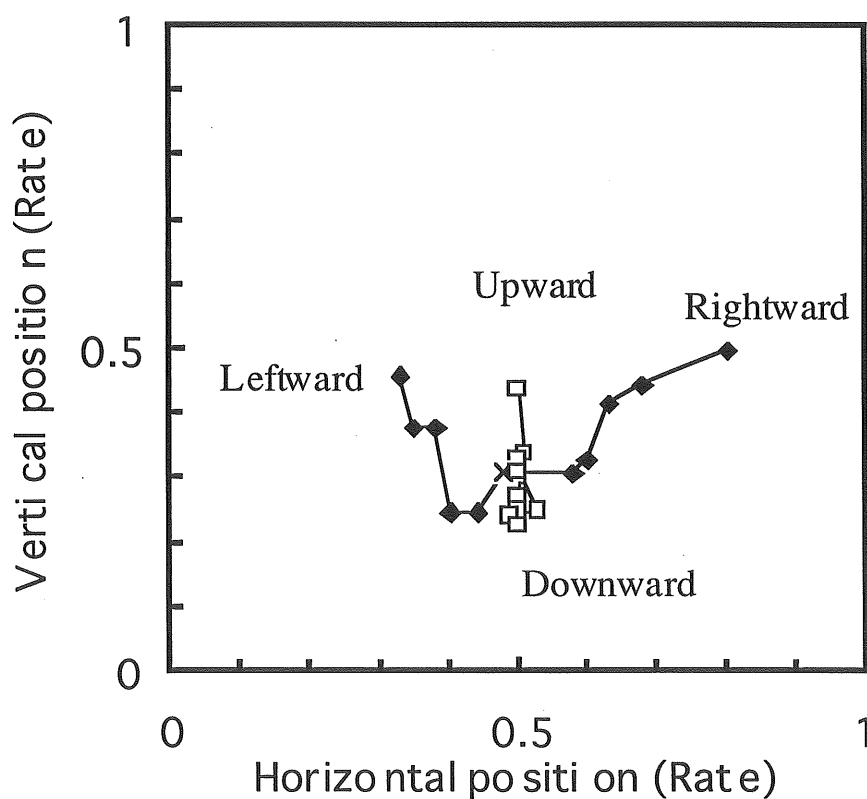


図 2.7 瞳中心の向きの度合

[目、眼球の特徴量の定義]

上記の解析に基づき、目、眼球の特徴量として、以下のものを選び、定義する。

- (1)目元：上瞼と下瞼の合わさる内眼角を本論文では呼び、他の特徴点の位置の基準とする。
- (2)目尻：上瞼と下瞼の合わさる外眼角を呼ぶ。
- (3)目上端：上瞼の縁で最も上方にある点を呼ぶ。
- (4)目下端：下瞼の縁で最も下方にある点を呼ぶ。
- (5)瞳の中心：黒目の中心位置、瞳孔の中心位置、虹彩の中心位置と同義とする。
- (6)左右の向きの度合：目元から目尻までの距離に対する、目元から瞳の中心までの距離と定義する。
- (7)上下の向きの度合：目上端から目下端までの距離に対する、目上端から瞳の中心までの距離と定義する。

2. 4 瞳中心の計測手法とその検出精度

〔目領域の特徴点の検出〕

図 2.8 に示す計測系で顔画像を撮像する。TV カメラで捉えた画像は、A / D 変換した後、フレームメモリに取り込み、パーソナルコンピュータ(PC9801RA、NEC 製)で解析を行った。なお、被験者は、コンピュータディスプレイモニタと向かい合い、TV カメラはディスプレイモニタ前面中央に取り付けたハーフミラーを介して、顔画像を撮像する。これは、ディスプレイモニタ上に表示した視標を見る邪魔をしないようにし、かつ視線を正面から捉えるためである。

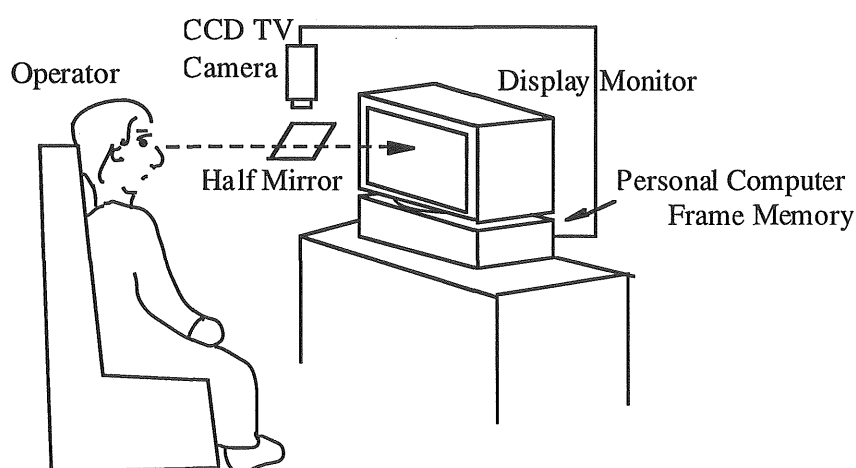


図 2.8 顔画像を撮像するための計測系

デジタル化した顔画像を適切な濃度レベルで2値化すると、目を含む注目画像エリアについて図 2.9 が得られる。この領域で以下の目の特徴づける点を抽出する。これは、目の領域を特定するためと、瞳中心の動きを計量するための基準点を与えるためである。図 2.9 の画像において、まず目の上下の端点と左右の端点の検出を行う。



図 2.9 目を含む注目領域の2値化像

(1) 目上端、下端の検出

撮影画像上に、水平方向に u 座標軸を垂直方向に v 座標軸をとる $u-v$ 座標系を設定

する。図 2.10 のように、水平方向に黒レベルの画素を数え、画素数が α 以上ある水平線を $h_1, h_2, \dots, h_{n-1}, h_n$ と数える。 h_{n-1} と h_n に対して、その v 座標値の差が、3 以上ならば h_{n-1} を目の上端部 H_{top} とした。また、 h_1 を目の下端 H_{bot} とした。

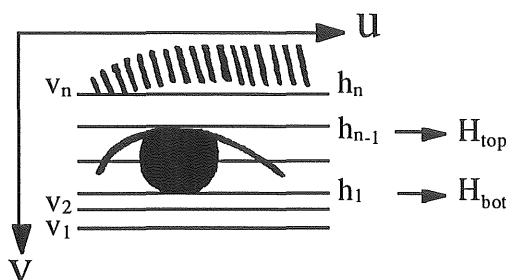


図 2.10 目上端、下端の検出

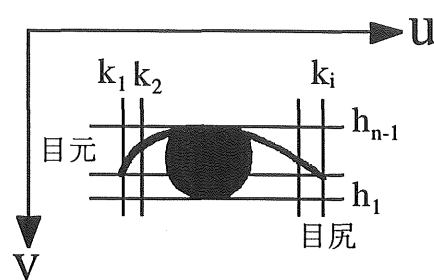


図 2.11 目元、目尻の検出

(2) 目元、目尻の検出

図 2.11 のように、水平線 h_1 から h_{n-1} の中で、垂直方向に黒レベルの画素数が β 以上ある線に対して k_1, k_2, \dots, k_i (全ライン数を I) と番号を振り、最小の u 座標を目元、 k_i を目尻とした。前章の解析結果によると、目元は眼球の動きに係わらず、移動しないので、眼球の動きに対する基準点として採用する。ここで、 α 、 β は小さな帆黒等のノイズとなる点を除くために設定した定数である。

[瞳中心の計測手法 1]

左右方向への瞳中心の位置は、図 2.12 の模式図に示すように、目元から目尻の領域で、垂直方向の黒レベルの画素を数え、画素数の最大のライン位置を手法 1 での瞳中

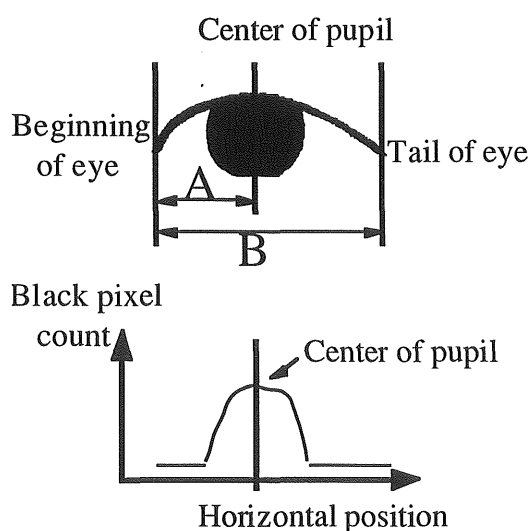


図 2.12 手法 1

心とした。目元から瞳中心までの距離を A 、目元から目尻までの距離を B とし、瞳中心の位置の動きは A/B で計測する。

実際の計算機上の計算は、図 2.13 に示すように、線分 k_1 、 k_i 、 h_1 、 h_{n-1} で作られる領域で、垂直方向のライン毎に黒レベルの画素数 E を集計し、最大のラインを I_c 、全ライン数を I とし、瞳中心の左右の位置の度合 P_c を、 $P_c = I_c / I$ とし、計算した。

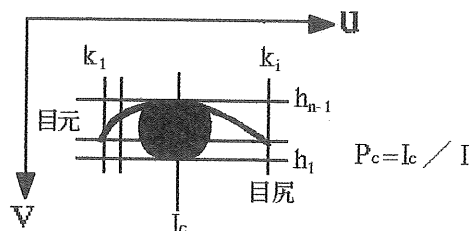


図 2.13 左右方向への瞳中心の位置の決定

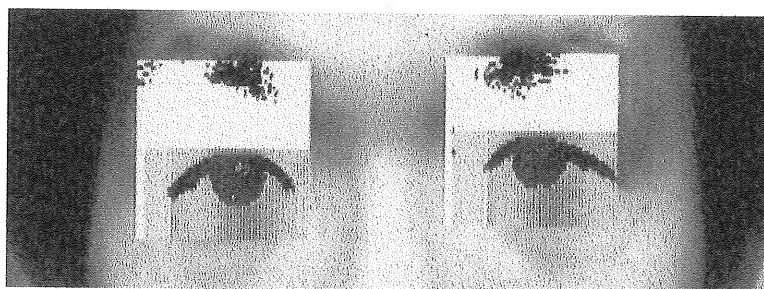


図 2.14 検出例

[瞳中心の計測手法 2]

手法 2 は、瞳の縁(白目との境)を求め、瞳を円と仮定して、瞳中心を推定した。目の 2 値化像に対し、目元近傍から水平方向にみて、瞳の縁 2 箇所を検出し、それらの中点が瞳中心位置とした。図 2.15 に模式図を示す。上記による検出処理例を図 2.16 に示す。

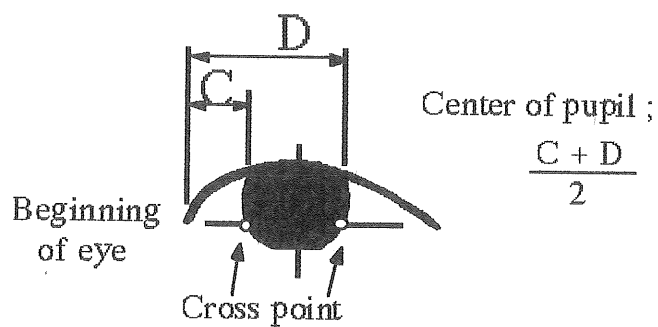


図 2.15 手法 2

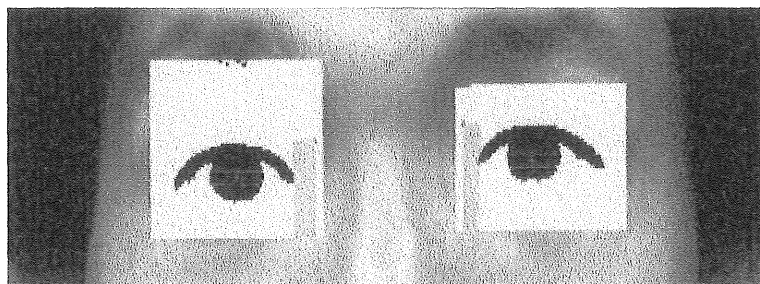


図 2.16 検出例

[瞳中心の計測精度]

手法 1、手法 2 による瞳中心の計測精度の評価を行う。実験系は図 2.8 と同じであるが、被験者正面のディスプレイモニタ上には、図 2.17 に示すように視線と水平方向になるように配置した視標を表示した。

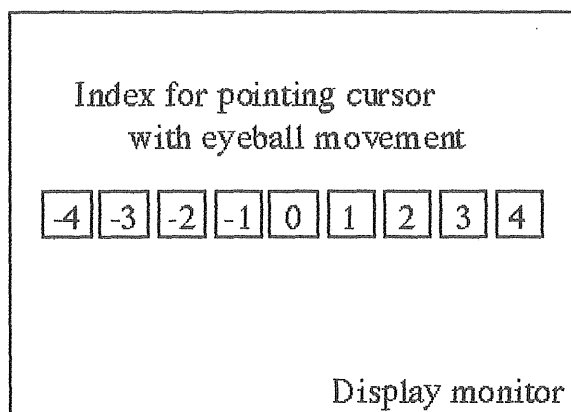


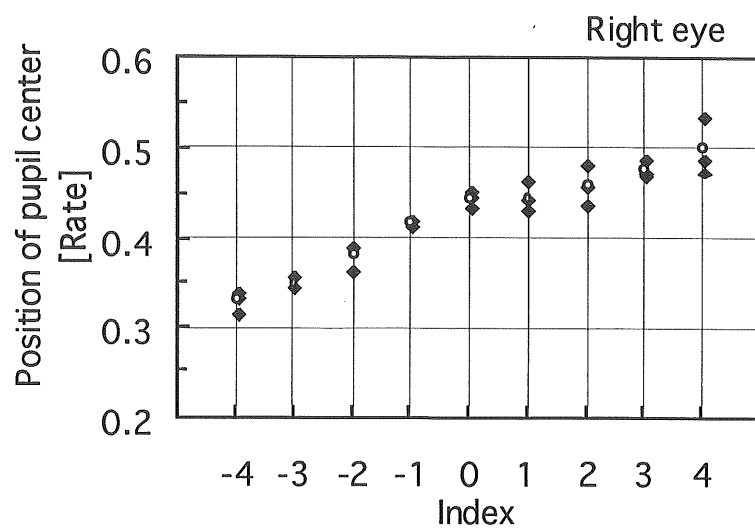
図 2.17 視標

ディスプレイモニタ画面(14"TVモニタ)に、視標を 26mm 間隔で 9 配置した。視標は向かって左から -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4 とここでは呼ぶことにする。各視標をみる視点の向きを、手法 1 の検出法及び手法 2 の検出法で算出することを、それぞれの視標で 3 回ずつ行った。評価実験は、左目、右目について行った。その結果を図 2.18、図 2.19 に示す。また両目での評価値として、左目データを右目に換算して平均値として求めて、その効果をみた。なお白丸のプロット点は、各 3 データの平均値である。

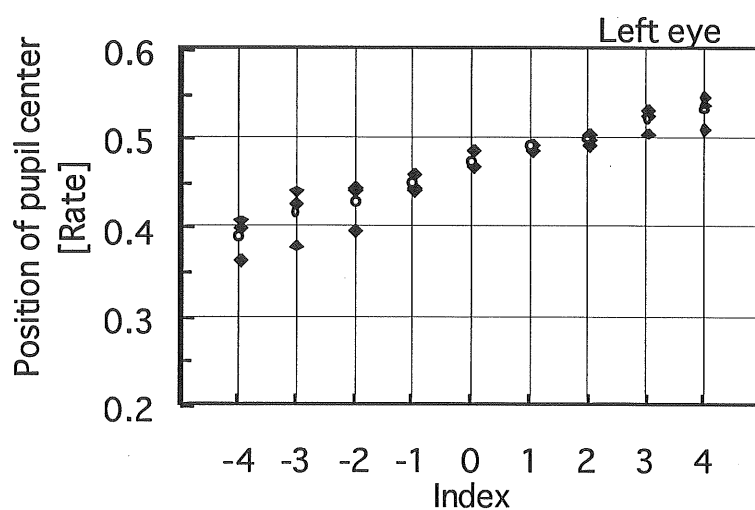
実験結果から、上記視標に対する視線の向きの検出精度として、以下の事柄が判明した。

(1) 手法 1 では、設定した視標を明瞭に識別していない。但し、計測回数を増やしてデータを加算することにより、識別されることが平均値のプロットより分かる。

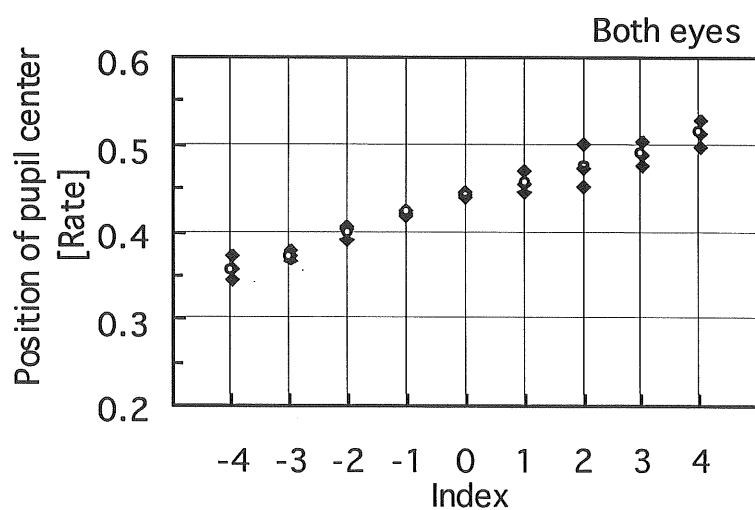
ここでの検出結果のばらつきは、画像のデジタルデータによることと、顔の微妙な



(a) 右目

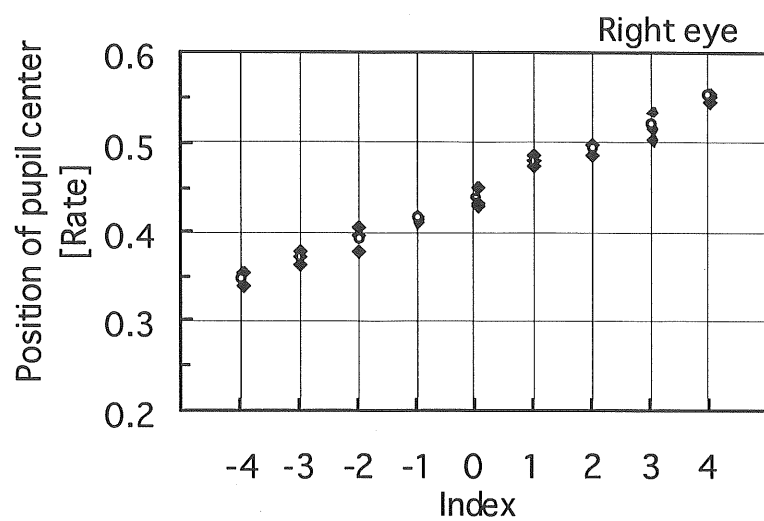


(b) 左目

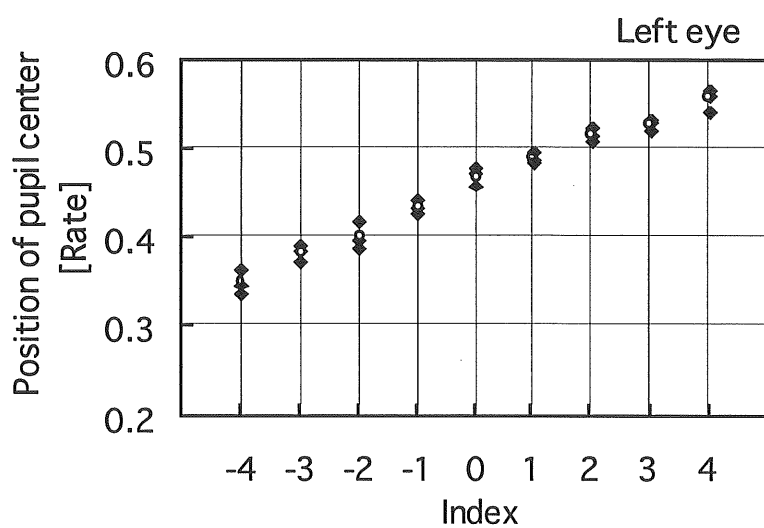


(c) 両目

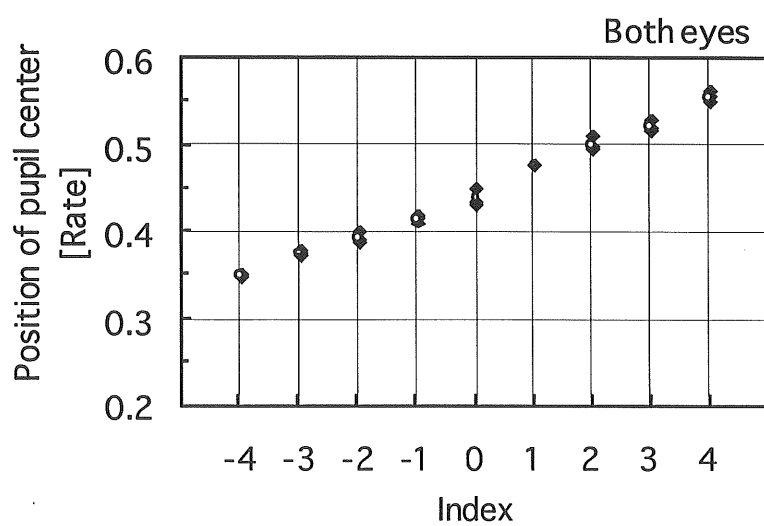
図 2.18 手法 1 による瞳中心の計測精度



(a) 右目



(b) 左目



(c) 両目

図 2.19 手法 2 による瞳中心の計測精度

動きに起因すると思われる。

手法 1 では、外向きの精度が悪い。問題点として、視点が正面から左右に向くにつれ、瞼がかぶってくるため、瞳中心は正面側へ過小評価されることである。特に瞼の重なりが大きい人ほど、影響が大きい。また、まつげの線が照明の具合で変化し、影響を及ぼす。模式図を図 2.20 に示す。

両目の計測データを利用して、識別しづらい。

(2)瞼の縁を利用する手法 2 では、片目では一部識別を誤るが、検出能が向上している。データの加算で識別は確実となる。

両目の計測データを使うと 1 画面での検出のみで 明らかに識別される。

(3)視標の配置を減らすことを行えば、手法 1 でも、1 画面の計測で識別を可能となることが推定される。

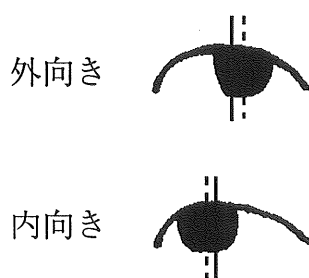


図 2.20 手法 1 の場合の問題例

このように手法 1 または手法 2 を用いることにより、視点の向きが思いのほか良好な検出精度を持って検出されることが確認された。この結果、コンピュータ・インターフェイスへの利用の可能性が得られた。

2. 5 眼球運動のコンピュータ・インターフェイスへの応用

画面全体から、目の領域を自動検出し、その領域に対して、目の特徴量を検出し、瞳がどちらを向いているか識別することを順を追って行う必要がある。以下にその手順と方法を記す。

[顔画像から目の領域部分を自動検出するアルゴリズム]

操作者に、瞼を開閉することを求める。その時の映像変化により、目の位置を捉える。そのアルゴリズムを示す。

(1)被験者の顔の画像の取り込み

(2) 瞼を閉じた画像の取り込み

(3) (1)と(2)の画像データの減算（目の抽出）

(4) 二値化处理

(5) 目を含む注目部位の認識と領域の設定

(3)、(4)の結果として図 2.21 に示すような眼孔の像が得られる。上記(5)では、黒レベルの画素数を図 2.21 に示すように u 座標 u_1, u_2, \dots, u_n で垂直方向に調べ、最大の時の座標を U_{\max} とする。次に v 座標 v_1, v_2, \dots, v_n で水平方向に調べ、最大の座標を V_{\max} とし、 (U_{\max}, V_{\max}) を目の中心とする。この座標を中心に注目領域を設ける。次の瞳中心の検出は、この領域について行う。

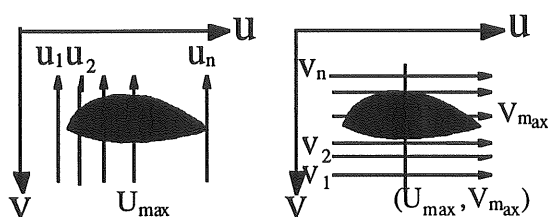


図 2.21 目の領域の自動検出

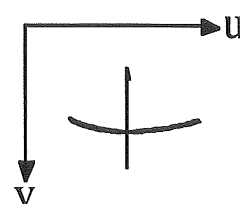


図 2.22 瞼を閉じたとき 2 値化像

[視線の向きと閉眼の判断]

瞳中心位置の検出は、2.5 節で述べた方法により求める。

瞳の左右の向きとしては、2.5 節の結果の精度があり、この利用が可能であるが、ある角度以上の向きを左向き、右向きと粗く判断し、コンピュータの入力に利用するのが簡単である。

瞼を閉じたときの瞼の線を、その 2 値化像で黒レベルの画素を垂直方向に数えた画素数を E とすると、視線の向きの決定と閉眼の決定は以下とできる。瞳中心の目元-目尻に対する相対的位置を P_c とする。

$E > \tau$ and $P_c < \delta_1$ で 右向き

$E > \tau$ and $P_c > \delta_2$ で 左向き

$E \leq \tau$ で 瞼を閉じている

ここで τ 、 δ_1 、 δ_2 は実験で求めた定数である。

これらの視線の向きと閉眼は、コンピュータへの入力においてカーソルの移動と入力確定に利用することができる。

[コンピュータ・インターフェイスのアルゴリズム]

図 2.23 に処理の流れを示す。以下の処理を繰り返すことにより、操作者からの入力を受け付ける。ここでは、ディスプレイモニタ上に電気機器のメニュー項目を視標の代わりに表示し、環境制御装置としての機能を持たせた。

- (1)操作画面に” 瞼を閉じる” ことを表示する。
- (2)顔画面から目の画像領域を認識する。
- (3)操作画面にメニュー項目を表示する。
- (4)目の画像領域にて目の特徴量を検出する。
- (5)視線の向きを算出する。
- (6)視線の向きに応じてメニュー項目間で選択マークを移動させる。
- (7)瞼を閉じたことを検出し、選択した項目の機器への制御信号を出力する。

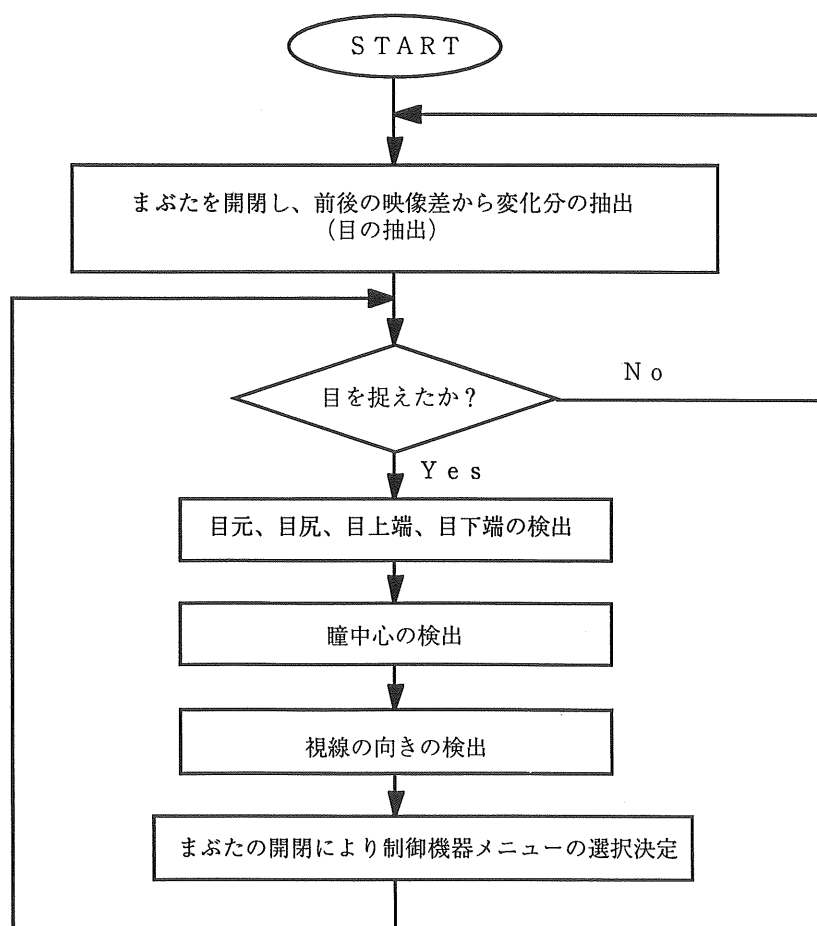


図 2.23 目の運動を利用するコンピュータ・インターフェイスのデータ処理フロー

(1)、(2)では、目が認識されるまで処理を繰り返す。(4)、(5)、(6)も、瞼が閉じられるまで処理を繰り返す。(7)が実行されると、(4)へ戻る。

画面から目の画像領域が外れると(1)に戻る。これらの処理を操作中、繰り返し実行することになる。ディスプレイモニタには、瞼を閉じれ等の指示文言と制御対象の機器のメニューと選択された結果が表示される。

なお、画像処理演算、画面制御等のプログラムはC言語にて作成した。上記のデータ処理フローに基づく各段階の処理結果の画像を図 2.24、図 2.25、図 2.26 に示す。顔画面から目の画像領域を決定し、目の向きを算出するまでの画像を示す。また、作成したメニュー画面を図 2.27 に示す。実験システムと模式図を図 2.28、図 2.29 に示す。

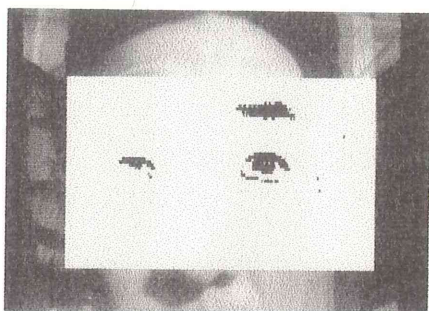


図 2.24 瞬きによる画像変化の2値化

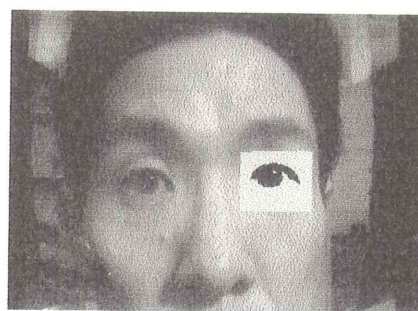


図 2.25 目の領域の抽出

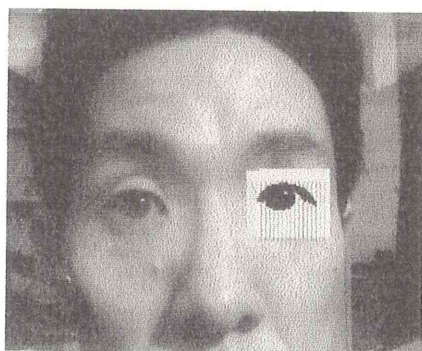


図 2.26 視線の向きの処理

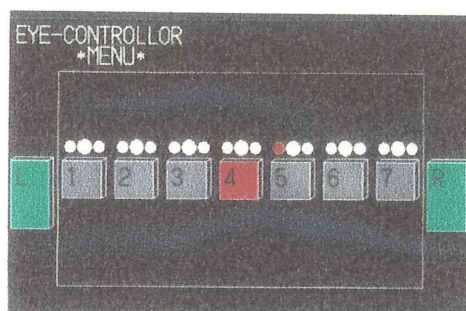


図 2.27 メニュー画面例

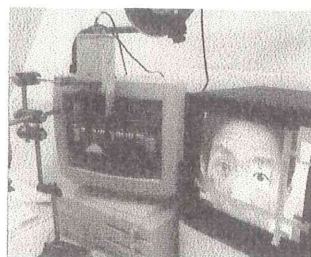
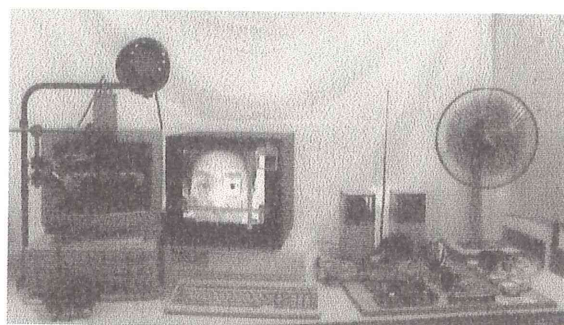


図 2.28 実験システム

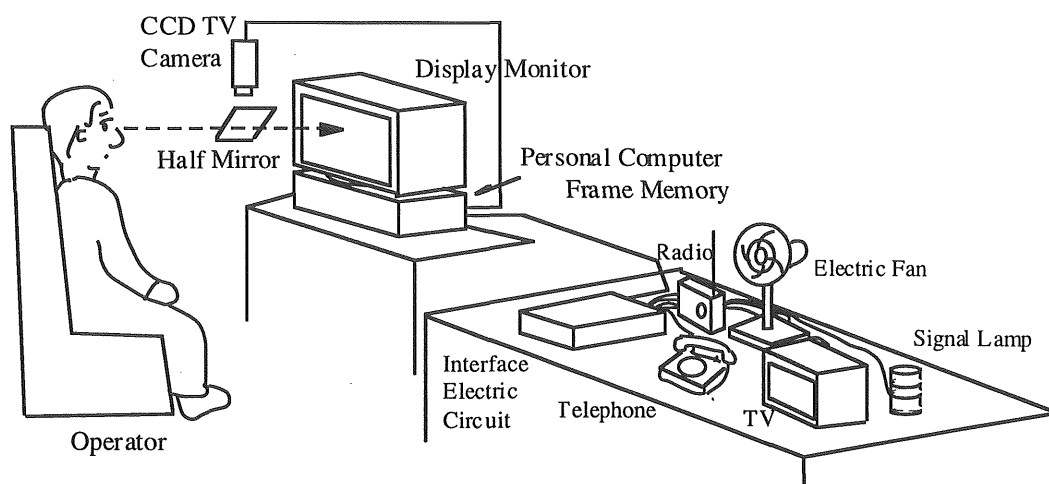


図 2.29 模式図

2. 6 まとめ

眼球運動の解析結果として、瞳の中心の左右方向への動きが、明確に観測され、画像処理によって検出されることが確認された。

瞳の中心の上下方向への動きは、瞼の影響が大きいため、その利用は困難であることが分かった。

眼球の動きを計測するに当たり、目領域での位置関係を知るための基準点の定義が必要であるが、目、眼球運動を特徴づけるパラメータとして、目元、目尻、瞳中心を選ぶことが適切であることが分かった。但し、以下の留意が必要である。

(1)目元は、動きがないので他の特徴量の基準とするのに適当である。

目尻は、目元とともに用いることで目の左右方向での大きさを決める。被験者の個人差を解消するために、瞳中心の動きをこの大きさで規格化することを考える場合、重要なパラメータとなる。

目元、目尻の検出点は、照明の具合で位置が変化するので注意が必要である。

(2)瞳中心は、眼球の動き、向きを反映する中心となるパラメータとなる。

視線の左右の向きの度合を表現する量として、(目元から瞳中心までの距離)/(目元から目尻までの距離)を定義した。

水平方向の視線検出アルゴリズムを2種開発し、コンピュータ・インターフェイスに利用できる検出精度が得られることが確認できた。

目の位置、瞼の開閉、左右方向の視線向きの自動認識を達成するアルゴリズムを作成し、視線の向きが、画像処理で検出でき、コンピュータ・インターフェイスに利用

できることが確認できた。

基本技術の開発ができたことによって、眼球運動を利用するコンピュータ・インターフェイスとしてほぼ機能する実験システムを作成することができた。

実験を通じて、次の課題も明らかになった。

- (1)明るさの変化と明るさの向きの変化、TVカメラの設置位置の問題で、それぞれ検出、認識に影響を及ぼす。
- (2)被験者が替わった場合への対応(目および周辺形状の差異、動作の個人差)が必要である。そのために眼球動きのデータの収集、蓄積をはかる必要がある。
- (3)メニュー画面上のカーソルを動かす操作に、眼球を動かさなければならぬため、目の疲労がある。このために、眼球を大きく動かさなくても済むように、視線操作方法の簡単化とメニュー画面の表示方法の工夫が望まれる。

第3章 眼球運動を利用する環境制御装置の実現とその適用

3.1 はじめに

重度の四肢麻痺者やALS(筋萎縮性側索硬化症)等の難病患者が、身のまわりの電気製品(電動ベッド、ナースコール、電気スタンド、テレビ、エアコン、電話等)を、残存機能を利用してコントロールする機器を環境制御装置(Environmental Control System)と呼ぶ。環境制御装置は、本人や家族の精神的・身体的負担の軽減を図る有用な装置で、その発展が切望されているものである。

重度障害者が使いやすい装置の実現を目指して、前章の結果をこの環境制御装置へ適用することをはかった。眼球運動を用いたこの装置を、アイコントローラと名付け、実用機として作成した。その結果を述べる。

3.2 環境制御装置を試作するに当たっての考慮点

福祉機器は、障害者の障害の程度に適していると同時にその生活空間での使用環境に適していなければならない。使用環境への適合化である^{68,69,70)}。例えば、ベッドサイドで自由に場所を取らずに設置でき、使用できるサイズと機構を持ち、調整、清掃等の日々のメンテナンスが少ない装置が求められる^{71,72,73,74,75,76,77,78,79,80)}。またこれらに先立つ項目としては、操作者にとって、操作手順に違和感がなく分かり易く、メニュー画面も見易く、誤動作がなく操作者に信頼感、安心感を与える機能を持つもので、疲労が少ないものでなくてはならない^{81,82,83,84,85,86,87,88)}。ベッドで使う、座って使う、どの部屋で等、設置環境への対応もあるし、さらには、目の形状、眼球運動の個人差への対応をはかれることは忘れてはならない^{89,90,91,92)}。付録1. に、福祉機器を障害者の生活環境へ適合させるために求められる機能についてまとめた。本研究で環境制御装置を試作するに当たり、考慮した点を以下に述べる。

(1)コンパクト化

小型化をはかる。そのために、(1)操作画面表示用のディスプレイモニタとしてCRTモニタを液晶ディスプレイモニタとし軽量化をはかり、ディスプレイモニタ、TVカメラ、ハーフミラーは図3.1で示すように一体化して、架台に吊るす装置機構とし

た。暗い場所での対処としての照明灯はこのユニットに一体化し取り付けた。架台台座はベッドの下に潜り込む形状とし、ベッドサイドに場所を取らずに設置できるようにし、操作はベッドに寝てできるものとした。ポール支柱は回転可能で、車椅子への移乗の際に邪魔にならぬようにした。(2)電気製品との接続ケーブルの繁雑さを避けるために、電気製品とのインターフェイス部分では、無線ユニットを採用し送信部、受信部の2分割構成にして、作成した。

小型化検討の結果として、キャスタ付きで移動可能なモービル型装置として作成した。

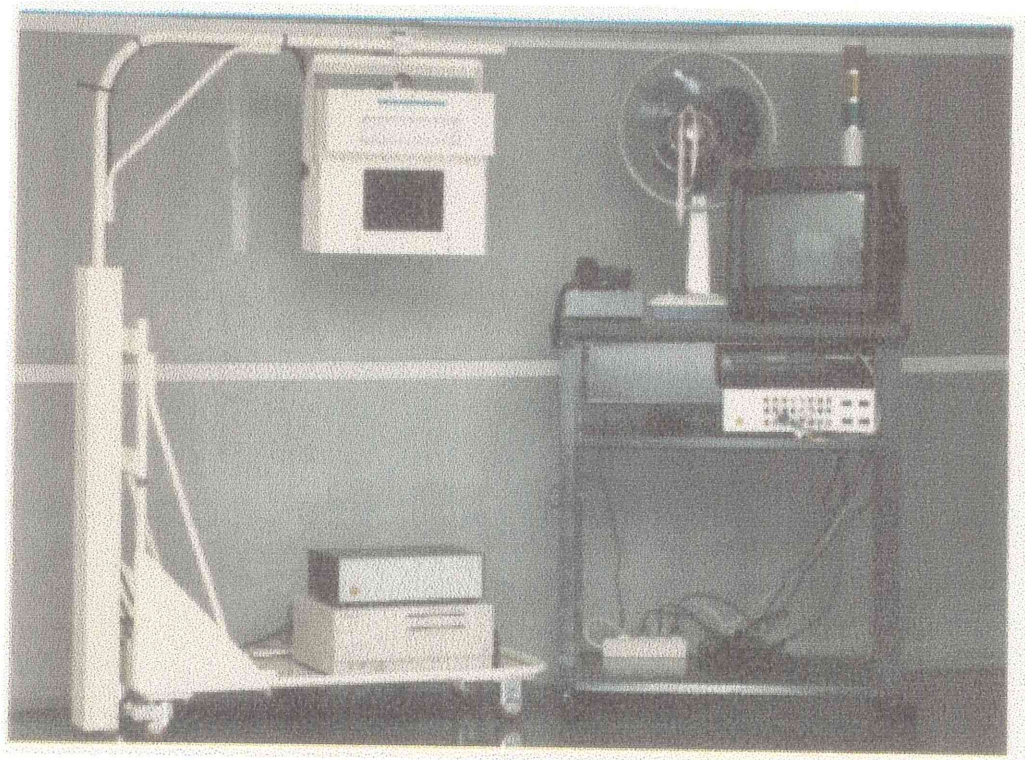


図 3.1 実用試作機

(2) 操作画面

メニュー項目を操作対象機器を表す絵柄もしくは操作内容を表す絵柄で表示し、見やすさを心掛けた。

操作者の目の状態の検知画像をリアルタイムでメニュー画面に重ねて表示することで、装置の処理状態を示し、操作者に安心感を与えるものとした。図 3.2 に例を示す。

またメニュー画面は、操作対象機器を選択するメインメニュー画面、各機器の詳細な操作を示すサブメニュー画面を用意し、操作に応じて切り替えて表示した。例を図 3.3 に示す。



図 3.2 メニュー項目の絵柄表示例と操作者の目の状態画像の表示例



図 3.3 メニュー項目の絵柄表示例

(3) 操作

視線の向きの検出精度としては、細かく取ることにはできるが、この装置では操作を確実にするため、視線の向きを左/正面/右の3つの向きで捉えることにした。

操作の対象項目は、分かりやすいように絵柄で操作画面上に水平方向に配置表示している。操作者は所定の時間、視線を左もしくは右に向けると、選択を表わす青色の着色が左もしくは右の絵柄に施される（選択の移動の表示）。まぶたを所定時間閉じると赤に着色され、操作項目の実行となる。

上記の操作が初期の操作方法であった。操作に慣れない人にとっては、どうしようかと思っているうちに望みの項目を通り過ぎることがあった。また確実に操作するためには項目の選択が済むと視線を正面に戻す操作となり、これは、注目している項目と視線が一致しないため、操作上支障となった。

そこで視線を左もしくは右に向けると、これまで画面上に固定されていたメニュー項目全てが、左もしくは右から正面にシフトしてくるように変更した。画面に繋がりをを持たせるために移動途中時の画面も表示することにした。このメニュー項目のスクロール機能を設け、視線による操作性を上げた。

さらに障害者が日常生活で使うことを考慮し、入力操作がある設定時間ないときは、自動で操作画面表示をやめ、まぶたの開閉をある条件で行うと復帰する機能を設けた。

(4) 操作対象の電気製品と応用機能

試みとして、テレビ、VTR、緊急電話、メロディ付き信号灯、日常的なメッセージの音声出力を基本機能として、操作できる機器及び項目として、準備した。それらのインターフェイス回路を作成した。テレビの項目なら、音量UP/DOWN、チャンネルUP/DOWN等の各項目の個別細部の操作項目を、メインメニュー操作画面に続く次の操作画面として用意した。

テレビ、VTR項目では再生画像を操作画面上に小画面として表示した。緊急電話は相手先とメッセージ内容を自由に登録可能とし、一般電話回線に接続された電話に使用可能とした。メロディ付き信号灯は赤黄緑のランプの点滅とメロディを鳴らすことができ、それぞれを喉が乾いた、苦しいとかの合図に使う。日常的なメッセージの音声出力は、声がでない操作者が代表的な会話文を音声合成装置で発声する。

これらの機能に加えて、上下左右の向きボタンと大中小の移動量ボタンと入力確定ボタンを操作画面上に準備し、コンピュータマウスカーソルを操作できる機能を設けた。これは、別置きのパソコンで障害者用ワープロソフトもしくはアプリケーションソフトを立ち上げておき、このパソコン画面はアイコントラ操作画面に表示される。操作者は、視線操作で先程のボタンを操作し、ワープロもしくはアプリケーションソフトを操作する。なお、アイコントラでのカーソル操作の信号は、マウス制御信号に変換し、別置きのパソコンのマウスポートに入力される。

このように装置全体で約35の操作を現在可能としている。

(5) 個人差への対応

複数の人が使用することを考慮して、個人差対応のための調整機能を設けた。

個人差のある目の形状、閉眼の条件、閉眼時間、左/正面/右の視線の向き設定値、カーソル移動の応答時間間隔等の6項目をパラメータ化し、随時調整可能とした。

表 3.1 プリセット調整パラメータ

項目	内 容	影響の度合
1. 目の形状抽出条件	目の輪郭抽出条件を2値化レベルで登録する 目の窪み具合、まぶたの状態に対処する。自動化準備中	使用環境の影響大、 個人差大
2. 閉眼抽出条件	閉眼形状の抽出条件を登録 まつげの厚さに対処するため	個人差大
3. 閉眼時間	閉眼の時間を登録する 瞬きとの区別をつけるため	慣れると早くできる
4. 視線の向きの判定条件	左／正面／右の視線の抽出条件を登録する	慣れるまでは正面向きの範囲を大きくすることが必要 個人差は余り無い 設置距離で変わる
5. 応答時間	メニュー項目の移動時間間隔を登録する 使用者の操作動作に合った値とする	慣れるまでは遅くする
6. 目領域の判定条件	使用者の目(大きさ、縦横比等)の抽出条件を登録する	個人差大きい

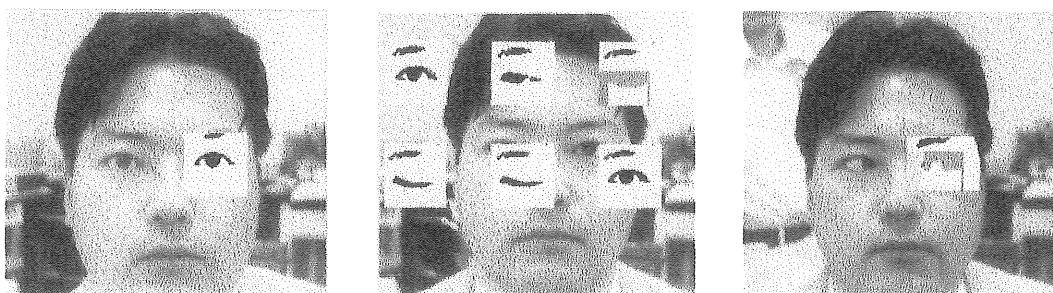


図 3.3 調整機能操作例

3. 3 試作した環境制御装置の構成

実用性と複数の人が使用することを考慮して工夫を行い、環境制御装置を作成した。ディスプレイモニタ、TVカメラ、ハーフミラーを一体化し、キャスタ付きの架台に

吊るす機構の装置を作成した。大きさは、高さ 155～185cm(支柱の伸縮で調整可能)、幅 110cm、奥行き 50cm である。ディスプレイ部は、高さで 30cm、アームへの取り付け位置を変えることで横方向 48cm の調整ができる。ディスプレイの向きは全方向調整可能な機構とした。ベッドサイドに持ち込め、簡便に使用できる装置を作成した。

(1) 操作姿勢と操作方法

図 3.4 に示すように、操作者の顔の前方 60cm 程度の位置に、メニュー表示用ディスプレイモニタが向かい合うようにアイコントラローを設置する。操作者は、画面に表示されるメッセージに従い、まずウィンクを行う。操作対象機器を左右に配列表示したメニュー画面が現れ、操作がスタートする。視線を左右に動かすことで、目的の機器にカーソルを移動させる。そして目を一定時間閉じることで選択実行となる。これらの動作を続けることで、望みの操作を次々に行うことができる。

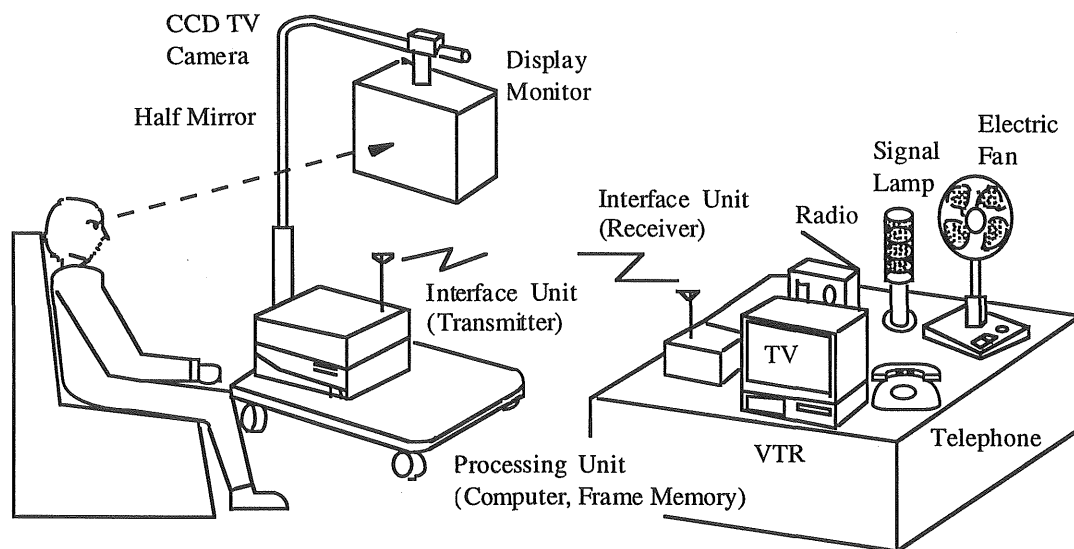


図 3.4 アイコントラローと操作姿勢

アイコントラローはTVカメラで操作者の顔画像を撮像しており、ウィンクの動きを画像処理にて捉え、目の位置を自動的に検知し、その後の視線の向きの検出、瞼の開閉状態の検出を繰り返し行う。瞼の閉じたことを検知したときは、インターフェイス回路を通じて電気信号を発生し、対象機器を起動させる。

アイコントラローは、顔画面から目の動きを抽出するので、多少顔が動いても操作に問題はない。しかし、疲れ防止のためにも、ベッドでの使用もしくはヘッドレストのある椅子での使用が望ましい。

(2) システム構成

システムの基本構成を図 3.5 に示す。パーソナルコンピュータ(NEC,PC9821An)、画像メモリボード(サイバテック,CT-9800B 及びカーパス, Super CVI)、CCD-TVカメラ、ハーフミラー、ディスプレイモニタ、I/O入出力ボード、外部機器とのインターフェイス回路から構成される。目を正面から捉えるために、ハーフミラーをディスプレイの前に配置し、ミラー上方にTVカメラを配している。撮像された画像は、画像メモリボード(512×256×8bit)に取り込み、パーソナルコンピュータで画像処理等の各種処理を行う。観察用モニタは、検討用、調整用としてのために設置している。

その他必要に応じて、自動音声通報装置、無線式送受信ボード等を追加している。

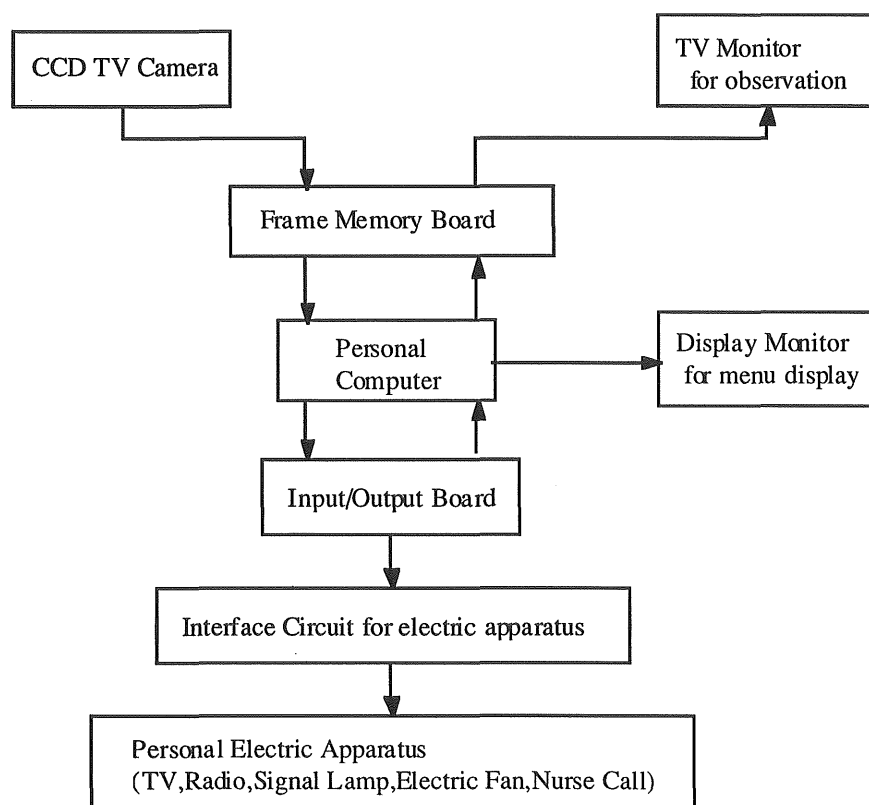


図 3.5 システム構成

(3) システム制御部

操作に伴う各部からの信号を判断し、操作手順に沿った命令を装置システム各部に与える。

・眼球運動検知部

TVカメラから送られた瞳周辺の画像データを画像処理ボードに取り込み画像処理

を行い、瞳中心の位置、向き、まぶたの開閉の検出を行い、そのデータを電気信号としてシステム制御部へ送る。

・メニュー表示部

システム制御部からの信号により、入力要求画面、全体メニュー項目画面、個々のメニュー項目画面の表示の切り替えを行う。また視線の向きの変化、まぶたの開閉等の情報の電気信号をシステム制御部から受け、それに従って画面のアイコンの状態(選択/実行の表示)を変化させる。

・周辺機器インターフェイス部

システム制御部からの信号により、その命令に合わせた機器操作(スイッチ ON/OFF)を行う。

・パラメータ登録部

誤入力をなくし操作精度を上げるための操作対象者毎の情報パラメータ(眼の形状、瞼の線の幅、閉眼の時間、左右視線の視線角度)を登録する。

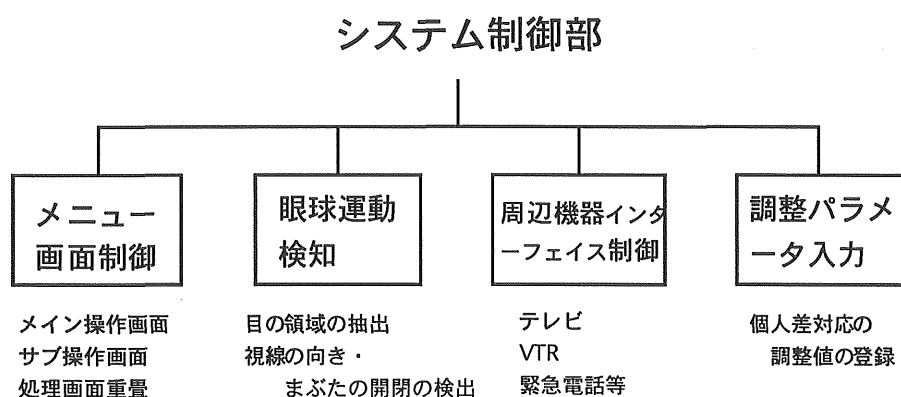


図 3.6 システム制御

本システムの機能を実現するための画像処理演算及びシステム制御はC言語にてプログラムを作成した。

(4) 装置機能

基本機能：眼球領域、視線の水平方向の向き、まぶたの開閉状態のリアルタイム自動検出と追尾機能、これら検出信号に同期した画面制御と操作対象機器制御機能

画面操作機能：操作項目の絵柄表示と画面切り替えによる詳細項目の階層化表示、操作に視線を一致させるための項目表示のスクロール化機能、撮像顔画像と装置動作状況の画面表示、ビデオ・テレビ・ワープロ・パソコン動画面の小画面表示機能

補助機能：一定時間の入力なし時の自動表示休止と復帰の待機機能

調整機能：操作者対応機能(視線向き、まぶた閉眼時間、閉眼条件、装置応答時間等)のプリセット機能

操作可能項目及び対象機器：(1)テレビ(チャンネル、音量)、(2)ビデオ(再生、停止等)、(3)緊急電話(相手先、メッセージ登録自由)、(4)赤青黄色の点滅ランプ操作、(5)介護者への音声メッセージ(登録自由)、(6)市販障害者用ワープロの操作、(7)パソコンの簡易操作、(8)扇風機等の交流100Vの電源スイッチ操作

3.4 フィールドテスト

[重度障害者によるテスト]

試作装置を関係施設に持ち込み、評価試験を都合5回実施した。以下、重度の身障者3人の方に評価していただいた結果について述べる。視線検知が可能か、操作ができるか、誤入力の程度はどうか、疲れはどうか等についてデータを収集した。評価結果を表3.2に示す。併せて健常者3人の評価結果も示す。

なお、表中の操作課題の時間は、代表的な操作例として、視線の向き4回(左2回、右2回)、閉眼2回で入力が達成される操作を行ったときの所要時間を示した。慣れると健常者と同程度の時間で入力が達成されているのが分かる。

図3.7、図3.8にテスト状況を示す。



図3.7 評価例1

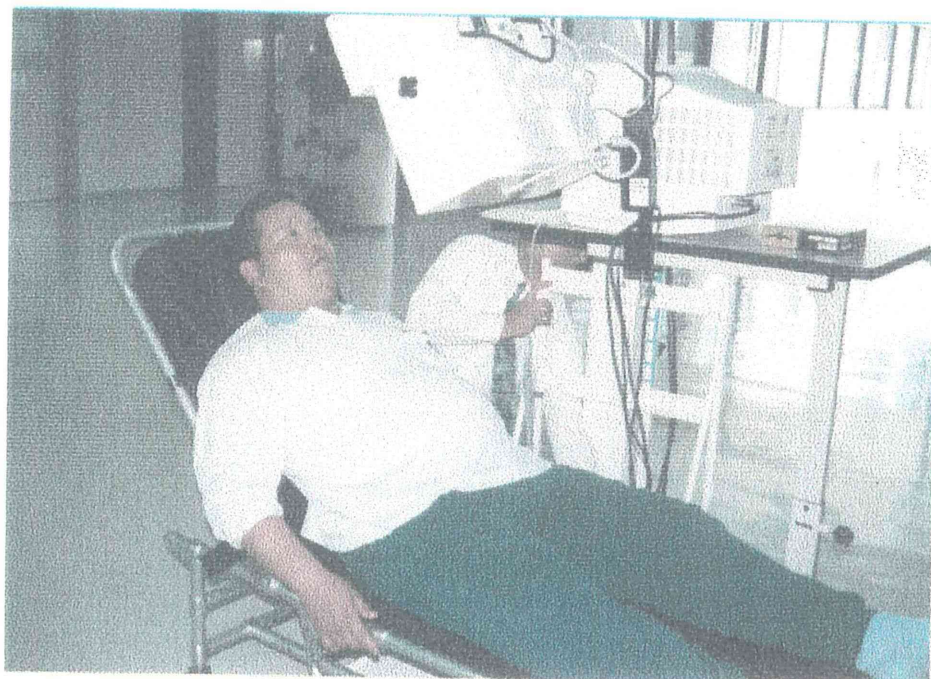


図 3.8 評価例 2

テストの結果をまとめる。

- 1)顔が揺れる人、目が細い人がいたにも拘らず、身障者3人の全てで、視線の向きでカーソルが動かせ、閉眼での項目の選択決定ができた。
- 2)顔が揺れる人は、目が検知領域を外れることがあり、一連の操作達成には至らなかったが、他の人では時間がかかっても決定入力の誤りは無しに、操作可能であった。
- 3)操作画面に、メニュー項目と合わせて顔の撮像画像を重ねて表示することは、装置の検知処理状態を示し、操作に対する安心感を与え、非常に有効であった。
- 4)使用環境の影響を受けないために、頭上方正面から照明を当てることが有効であった。
- 5)目はさほど疲れない。寝て操作する場合は問題ないが、車椅子の場合、姿勢を保つのに疲れるという感想であった。慣れれば充分使えるとの感想を得た。
- 6) 一層のコンパクト化、ディスプレイ画面の大画面化(試作装置は9.5インチ)が望まれた。

表 3.2 評価結果

操 作 者	操 作 結 果	使用時間 と 感想
35歳 男性 脊椎変形による体幹 機能障害	操作 OK(カーソル移動時間調整) カーソル誤操作あり、決定誤り無し	簡易ベッドで1時間使用。 目は疲れない。 手足が利きづらいので便

	操作課題 15秒、長くて40秒	利。
33歳 女性 脳性麻痺による四肢 機能障害 (頭の静止困難)	操作 NG(目が検知領域を外れるため) 目の検知、左右視線検知 OK カーソル移動、選択決定 OK	車椅子で1時間使用 目は疲れない、姿勢保持に 疲れる。手足利かないので 便利。
34歳 男性 脳性麻痺による右上 下肢体幹機能障害 (目細い)	操作 OK(カーソル移動時間調整) カーソル誤操作あり、決定誤り無 し	電動車椅子で1時間使用。 目は疲れないが、姿勢が疲 れる。手足利かないので便 利
31歳 男性 健常者	操作 OK カーソル誤操作無、決定誤り無操 作課題 11.7秒	椅子2時間、簡易ベッド1時間 使用。椅子疲れる、ベッド疲 れない
34歳 男性 健常者	操作 OK(カーソル誤操作あり、決定 誤り無) 操作課題 17.0秒	椅子で2時間使用。 姿勢保持に疲れる。
39歳 男性 健常者	操作 OK(カーソル誤操作あり、決定 誤り無) 操作課題 16.6秒	椅子で2時間使用。 姿勢保持に疲れる。

[在宅ALS患者によるテスト]

家庭環境での評価を行うために、ALS(筋萎縮症側索硬化症)の在宅患者の協力を得て、テストを行った。この方は、頭部を除いて全身の随意運動はできない。しゃべることはできる。ベッドと車椅子での生活である。装置はベッドサイドに設置し、ディスプレイモニタがベッドの上に来るようにした。ベッドに横たわったときに使ってもらった。1ヵ月程設置した。

評価の結果、装置を使うことが可能であった。課題としては、以下の実用性に関する項目が上がった。

- 1) ディスプレイモニタ部が、動けない人にとって胸の上に吊すには圧迫感があった。途中コンパクトサイズのものに変更し、解消した。スタンド台座は、ベッドの下に潜り込む形状で、スペース的に問題はなかったが、コンピュータ部分、インターフェイス回路部分等がスペースを食った。
- 2) 患者の車椅子への移乗作業があり、ディスプレイモニタ部は、横に跳ねる等簡単に片付けられることが不可欠であった。
- 3) ベッドに寝ると、壁際に顔が来るため採光が悪く、操作者の顔を照明する必要がある、ディスプレイモニタ部に照明器を設けることは必要であった。
- 4) 寝直したときに位置が変わるので、ディスプレイモニタ部の位置調整のガイドライ

ンを守ることもしくは目領域の検出エリアを広げる必要があった。

5)テレビ画面は、操作画面に出ないと見れなかった。このテスト後対応をはかった。

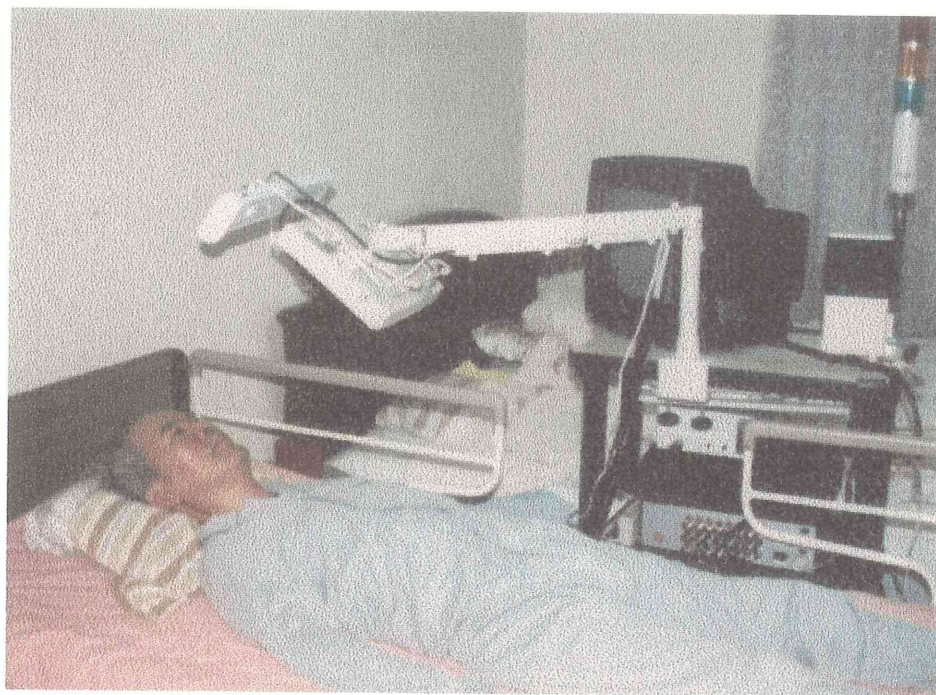


図5．在宅ALS患者によるテスト

3. 5 まとめ

重度の身障者の瞼の開閉、視線の向きを、特別な機具を装着することなしに非接触的に検知し、障害者が希望する電気製品を操作したり、信号灯、緊急電話等を介して介護者とコミュニケーションを図る環境制御装置を作成し、重度障害者が自らの目の動きで、メニュー画面と対話し、希望のメニューを簡単に選択できる使い易いシステム開発ができた。

本章の結論を以下に述べる。

- (1)障害者の生活環境への適合化の検討をはかり、コンパクトなシステムを構築し、ベッドサイドで簡便に使用できる装置を開発することができた。
- (2)視線操作を考慮したメニュー画面と操作方法を提案できた。
- (3)フィールドテストの結果、身障者が健常者同様に操作できることを確認できた。
- (4)テストにより得られた課題を装置に盛り込み、ほぼ実用の装置にすることができた。

実用性をさらに高めるためには、装置の起動から終了に至るまでの装置としての機

能を完結させる必要がある。1つの方策として、自動待機機能を設けたが、さらに操作対象の機器を拡充したい。

通常、環境制御装置に求められる項目に加えて、ワープロ機能を盛り込んだ。パソコン通信機として社会参加、コミュニケーション機器として展開可能である。このように社会参加を多少でも支援できる装置へと拡張をはかりたい。

なお病院施設を対象にした場合、そのまますぐに患者監視／看護システムとして利用できる。各使用者用の本装置を病院のナースセンター等に設置したホストコンピュータで一元管理し、各患者に情報等提供、アナウンスするシステムとして使用することが考えられる。

第4章 頭部運動のコンピュータ・インターフェイスへの応用

4.1 はじめに

前章までの結果として、眼球運動をコンピュータ・インターフェイスの入力手段に利用できることが確認された。実際に操作者が視線の向きと瞼の開閉で、身の回りの電気製品を操作できる装置を作成した。まず操作者の頭が大きく動かなければ、誤動作無しに操作できることが分かった。課題は、視線の動きと一緒に頭が動いたり、顔の向きが傾いていたりすると、視線の向きの検出に支障を生じることであった。寝たきりの人の場合、枕がずれたりして頭が動いたり傾くことが想定され、そのような状態でも使えることが望ましい。

ところで頭部が自由に動かせる障害者の場合には、顔の向きが検出可能なら、顔を左右上下に振ることで入力を行うことができる。そこで残存機能の有効利用を図り、顔の向きを検出して、顔の向きによる入力を図ることを試みた。

本章では、まず頭部の姿勢を検出する4種の方法を提案する。さらに、頭の向きが調節できる四肢麻痺者にとって、現状では使い勝手のよいパソコンのポインティングデバイスの代替となるインターフェイスが少ないことを考慮して、頭の向きでパソコンの操作を可能とするコンピュータ・インターフェイスの実現の可能性を検討した。

4.2 2台のテレビカメラを用いた頭部姿勢の検出

[三角測量法による計測方法]

TVカメラを用い、顔の特徴点を計測して求める方法のメリットは、眼鏡やヘルメット等を何等身に付ける必要がなく、操作者を束縛しないことである。

顔の向きを検出するための計測法として、2台のTVカメラを使った三角測量に基づく計測方法が考えられる⁹³⁾。

図4.1に示すように、左右の目の目元P1、P2と上唇の中心点P3を顔の特徴点として、三角測量にてそれぞれの3次元座標値を求め、検出する。この3点で形成される三角形の法線の向きを求め、顔の向きを決定する。図4.2に2台のカメラとこの三角形の位置関係を示す。Z軸と三角形の法線ベクトルのなす角度を α 、X-Z面への投影

角を θ 、Y-Z 面への投影角を ϕ とする。

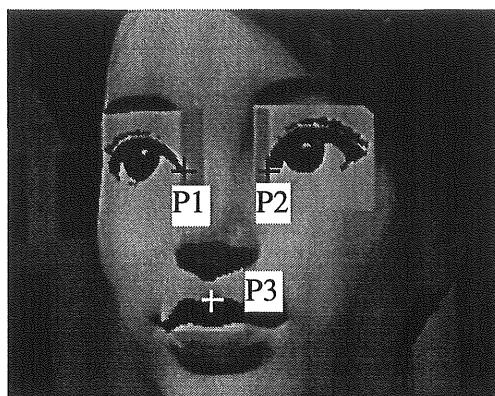


図 4.1 顔の特徴点

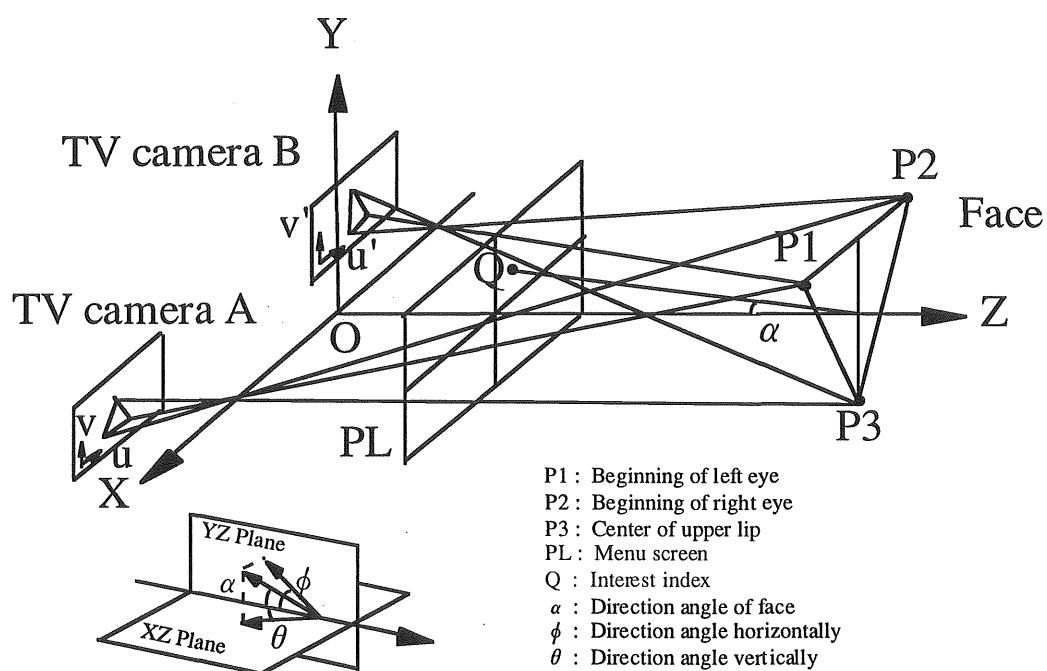


図 4.2 3次元座標値検出のための計測系

[顔の特徴点の3次元座標値の算出方法]

顔の特徴点の検出のための計算方法について述べる。

(1) カメラパラメータの導出

カメラ座標系(u,v)と物体座標系(X,Y,Z)の関係は以下で表すことができる^{94,95,96}。

$$\lambda \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

ここで λ は定数、 c_{ij} はカメラパラメータである。この関係式を展開し、 u 、 v について整理すると、

$$(c_{11} - c_{31} u)X + (c_{12} - c_{32} u)Y + (c_{13} - c_{33} u)Z = u - c_{14}$$

$$(c_{21} - c_{31} v)X + (c_{22} - c_{32} v)Y + (c_{23} - c_{33} v)Z = v - c_{24}$$

となる。

既知の異なる6点 (X_k, Y_k, Z_k) について撮像し、 (u_k, v_k) が得られたとすると、 $k=1,2,3,4,5,6$ の6組の上式が得られる。 c_{ij} について、書き直すと、

$$\begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -X_1 u_1 & -Y_1 u_1 & -Z_1 u_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & -X_1 v_1 & -Y_1 v_1 & -Z_1 v_1 \\ X_2 & Y_2 & Z_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -X_2 u_2 & -Y_2 u_2 & -Z_2 u_2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_2 & Y_2 & Z_2 & 1 & -X_2 v_2 & -Y_2 v_2 & -Z_2 v_2 \\ X_3 & Y_3 & Z_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -X_3 u_3 & -Y_3 u_3 & -Z_3 u_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_3 & Y_3 & Z_3 & 1 & -X_3 v_3 & -Y_3 v_3 & -Z_3 v_3 \\ X_4 & Y_4 & Z_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -X_4 u_4 & -Y_4 u_4 & -Z_4 u_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_4 & Y_4 & Z_4 & 1 & -X_4 v_4 & -Y_4 v_4 & -Z_4 v_4 \\ X_5 & Y_5 & Z_5 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -X_5 u_5 & -Y_5 u_5 & -Z_5 u_5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_5 & Y_5 & Z_5 & 1 & -X_5 v_5 & -Y_5 v_5 & -Z_5 v_5 \\ X_6 & Y_6 & Z_6 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -X_6 u_6 & -Y_6 u_6 & -Z_6 u_6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_6 & Y_6 & Z_6 & 1 & -X_6 v_6 & -Y_6 v_6 & -Z_6 v_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{11} \\ c_{12} \\ c_{13} \\ c_{14} \\ c_{21} \\ c_{22} \\ c_{23} \\ c_{24} \\ c_{31} \\ c_{32} \\ c_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \\ u_4 \\ v_4 \\ u_5 \\ v_5 \\ u_6 \\ v_6 \end{bmatrix}$$

ここで、左辺第1項をA、第2項をC、右辺をBとすると、

$$A \cdot C = B$$

と記述できる。最小2乗法を使用できると仮定すると、

$$C = (A' \cdot A)^{-1} \cdot A' \cdot B$$

が導出され、カメラパラメータが求まる。ここで $(A' \cdot A)^{-1} \cdot A'$ は疑似逆行列である。

(2) 3次元座標値の計算

1台目のTVカメラのカメラパラメータを a_{ij} とすると、3次元上の点のカメラ画像上の座標は以下のように表せる。

$$\lambda_a \begin{bmatrix} u_a \\ v_a \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

同様に2台目のTVカメラでは、カメラパラメータを b_{ij} とすると、以下ようになる。

$$\lambda_b \begin{bmatrix} u_b \\ v_{ba} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

2 台の TV カメラで (u_a, v_a) 、 (u_b, v_b) が計測され、既知だとし、 X 、 Y 、 Z について上記関係式を整理すると、

$$\begin{bmatrix} a_{11} - a_{31}u_a & a_{12} - a_{32}u_a & a_{13} - a_{33}u_a \\ a_{21} - a_{31}v_a & a_{22} - a_{32}v_a & a_{23} - a_{33}v_a \\ b_{11} - b_{31}u_b & b_{12} - b_{32}u_b & b_{13} - b_{33}u_b \\ b_{21} - b_{31}v_b & b_{22} - b_{32}v_b & b_{23} - b_{33}v_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_a - a_{14} \\ v_a - a_{24} \\ u_b - b_{14} \\ v_b - b_{24} \end{bmatrix}$$

ここで左辺第 1 項を T とおくと、

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = (T' \cdot T)^{-1} \cdot T' \cdot \begin{bmatrix} u_a - a_{14} \\ v_a - a_{24} \\ u_b - b_{14} \\ v_b - b_{24} \end{bmatrix}$$

このように、予めそれぞれのカメラパラメータ a_{ij} 、 b_{ij} を求めておくと、2 台の TV カメラによる画像計測によって 3 次元座標値 (X, Y, Z) が求まる。

[計測精度の評価]

ここで、マネキンを使って計測した顔の特徴点 3 点の検出処理例と、顔の向きの評価結果を図 4.3、図 4.4 に示す。顔面の 3 点 $P1$ 、 $P2$ 、 $P3$ は、まず 2 台のテレビ画面の各座標系でそれぞれに位置を求める。特に $P3$ は、パターンマッチングの手法で求めた。この後、それぞれの点を 3 次元空間の座標値として算出し、その値から顔の向きを計算した。結果は、あるオフセット量を持っているものの、一意に定まる量であった。計測精度の評価は、正面、左向き 15 度、右向き 15 度、上向き 10 度、下向き 10 度について評価した。なお、図 4.3 の唇の写真で、上唇の黒いベタ塗部分がパターンマッチングのためのテンプレートである。

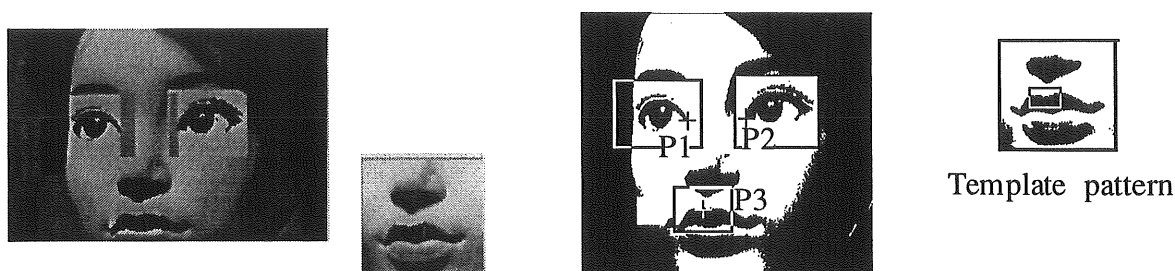


図 4.3 顔の特徴点の検出

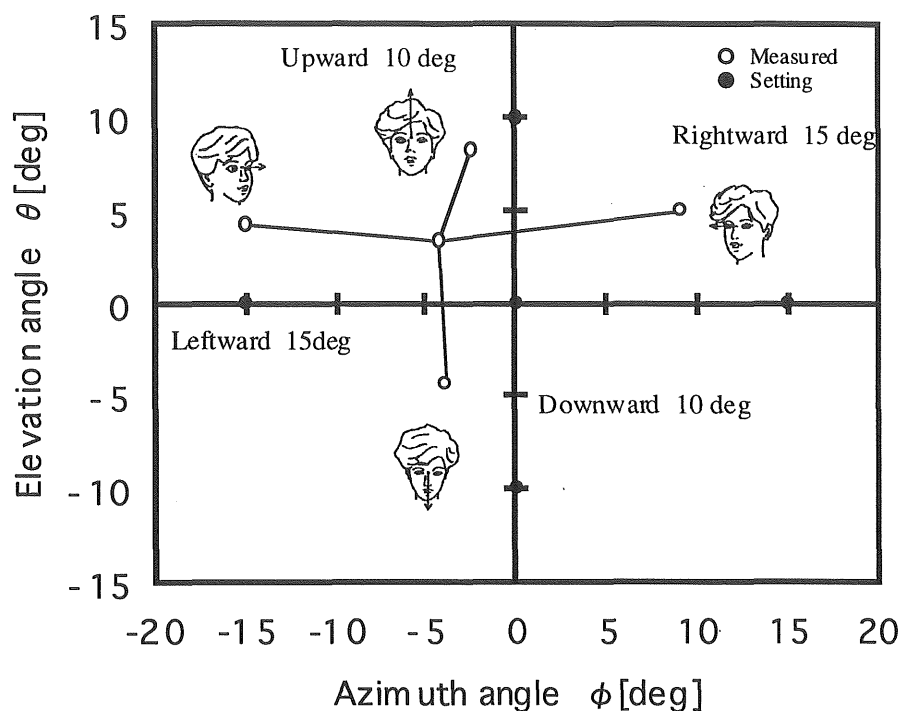


図 4.4 顔の向きの検出精度

[視線の向きの補正への利用と頭部運動を使うインターフェイスの可能性]

計測した顔の向き角が視線の向きに及ぼす影響を、関係式として定式化し、顔が傾いたときの視線の向きを補正できるようにした。この関係式の導出は、付録 4. に示した。

これらの処理を組み込むことによって、顔が傾いた場合での視線の向きを補正することができ、眼球運動を利用する環境制御装置の精度向上をはかることができる。但し、この方式は、パターンマッチングの演算時間がかかり、リアルタイム処理が難しいことと、TVカメラを2台、フレームメモリを2画像分必要とし、実用上の問題点が残った。

頭部姿勢の検出をコンピュータ・インターフェイスに利用する可能性を検討するために、顔の向きで操作できる環境制御装置を作成した。操作者は顔の向きを左右に向けディスプレイモニタ上のメニュー項目を選択し、頷くことで入力確定とした。健常者でテストを行い、操作可能であることを確認した。しかし、処理時間がかかり、実用的ではなかった。操作のようすを図 4.4 に示す。

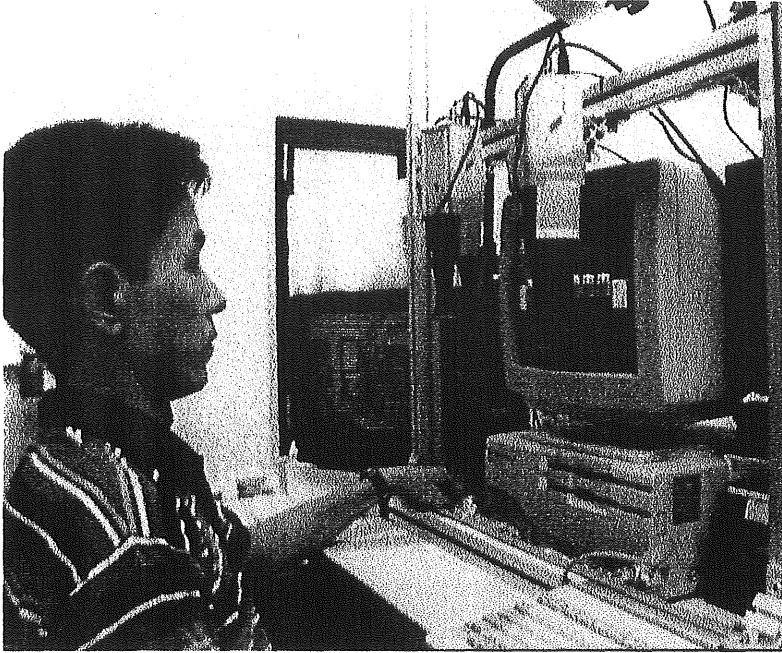


図 4.4 可能性テスト

4. 3 顔画像の対称性に着目した、1 台のテレビカメラによる頭部姿勢の検出

[対称性に着目した計測方法]

顔画像の左右対称性を利用し、1 台のカメラで顔の向きが計測できる方法を考えた (98,99,100,101,102)。

これは、顔面上の両眼の位置、両口元等の面对称図形(台形等)もしくは平行四辺形を形作る 4 点を TV カメラの撮影画像上で検出することで顔の向きを算出することをめざす。ここでは、平行四辺形(長方形も含める)に着目する。この幾何学上の関係を図 4.5 に示す。

平行四辺形の頂点を表す 4 つの位置ベクトルを $p_i (i=1,2,3,4)$ とする。これらの方向ベクトルを $q_i (i=1,2,3,4)$ とすると、 $p_i = k_i \cdot q_i$ と表現できる。ここで k_i は定数である。幾何学条件より、 $p_1 - p_2$ と $p_4 - p_3$ は平行であることから、 k_i に関する以下の関係式が導かれる。

$$k_1 / k_4 = (q_4 \times q_3) \cdot q_2 / (q_1 \times q_3) \cdot q_2$$

$$k_2 / k_4 = (q_4 \times q_3) \cdot q_1 / (q_2 \times q_3) \cdot q_1$$

$$k_3 / k_4 = (q_4 \times q_2) \cdot q_1 / (q_3 \times q_2) \cdot q_1$$

$|p_1 - p_2|$ と $|p_4 - p_3|$ の実際の距離は既知とし、 q_i はTVカメラにより計測することができることより、 k_i は求まり、 p_i の3次元座標値を求めることができる。

この結果、顔の向きが求まる。これは顔面にある平行四辺形を1台のTVカメラで撮像し、平行四辺形の歪みを計測することで3次元座標値を得れることを意味する。

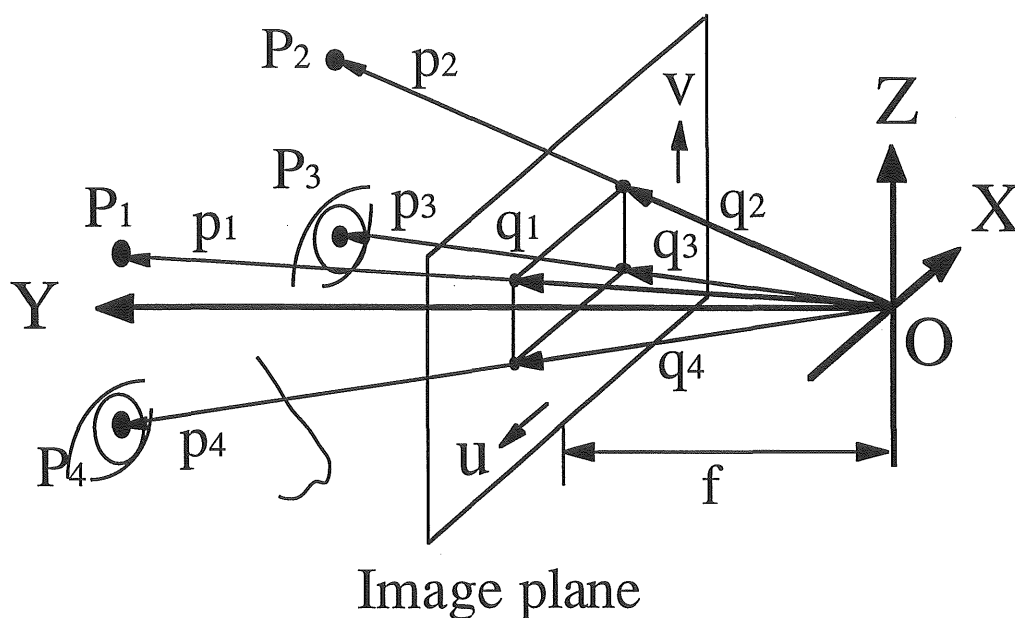


図 4.5 顔の向き検出のための計測系

[計測精度の評価]

計測精度の評価を行った。まず、操作者の代わりにマネキンの額に平行四辺形を形成する4点のマークを貼りつけ、その顔の向きを評価した。

正面及び上下 ± 10 度、左右 ± 15 度の向きについて測定した。TVカメラから50cmの距離での評価を代表例として、図4.6にその結果を示す。ここで、平行四辺形の法線ベクトルとZ軸のなす角を α とし、 α のXZ面への投影角を θ (水平方向の向き角)、YZ面への投影角を ϕ (上下方向の向き角)とする。

上向きの判別がやや劣るが、左/正面/右及び下向きの判別が可能であることが分かった。

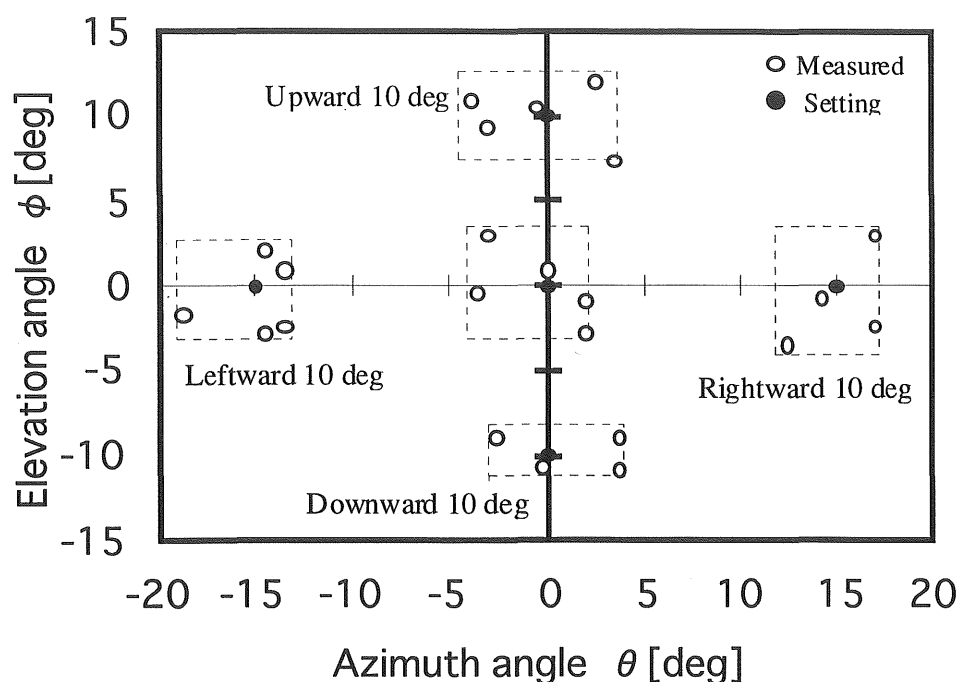


図 4.6 顔の向きを検出精度

[視線の向きの補正への利用と頭部運動を使うインターフェイスの可能性]

前節と同様に、計測した顔の向き角で視線の向きを補正できるようにし、眼球運動を利用する環境制御装置の精度向上をはかることができた。この方式は、TVカメラ1台、フレームメモリ1画像分で済むメリットがあったが、前節ほどではないが演算時間がかかり、リアルタイム処理が難しいために、実用化に難があった。

頭部姿勢の検出をコンピュータ・インターフェイスに利用する可能性を検討するために、操作者の額に2点のマーカを貼り付け、顔の向きで操作できる環境制御装置を作成した。操作者は顔の向きを左右に向けディスプレイモニタ上のメニュー項目を選択し、頷くことで入力確定とした。健常者でテストを行い、操作可能であることを確認した。画面全体に渡る処理の時間がかかること、校正に手間を要するために実用化にはいま一つのブレークスルーが必要である。

4. 4 3個のLEDを付加した専用眼鏡を用いた頭部姿勢の検出

[専用眼鏡を用いた計測方法]

上記2例のように、顔の特徴点の画像計測をソフトウェアのみで行うことは、コンピュータに負荷をかけ、処理時間を要する。そこで、特徴点を検知しやすいものにする 것과処理の高速化を考えた。そのために、専用の画像演算処理を行うハードウェアとインターフェイス化を容易にするデバイスを作成した。

操作者は、3個のLED素子を付加した眼鏡を掛ける。3個のLED素子は、特別な位置関係になっており、眼鏡の3次元位置と姿勢は、簡単な画像処理アルゴリズムで検出される。頭の動きは、ディスプレイ上のカーソルの位置信号として使われる。

アルゴリズムを簡潔にすると、1チップのFPGA(Field Programmable Gate Array)を使ったコンパクトなシステムとして実現できる。

このシステムの構成を図4.7で示す。TVカメラは、操作者の頭の動きを検出するために、操作者の前に設置する。操作者は、専用の眼鏡を掛ける。眼鏡の上部には、3個のLED素子(Light Emitting Diode)が図4.8に示すように帽子の鰐状に3角形を形成するように取り付けられている。赤外線発光のLED素子とTVカメラに取り付けた光学フィルタが、画像から3個のLEDの位置を検出するのを容易にする。

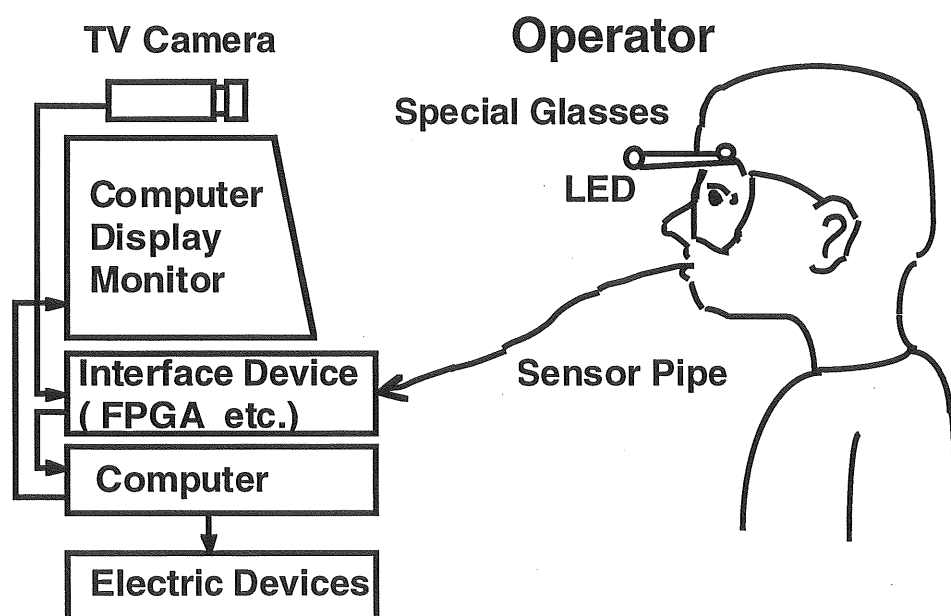


図 4.7 システム構成

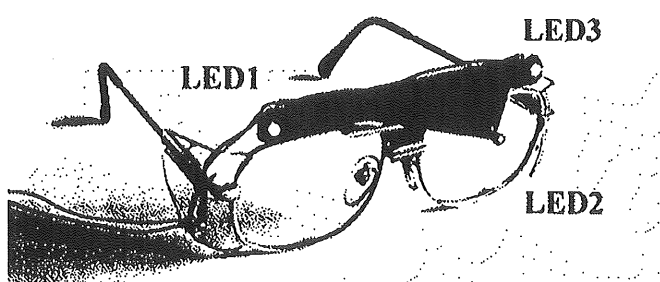


図 4.8 3 個の L E D を付加した眼鏡

TVカメラ画像の3個のLEDの位置座標値から、眼鏡の3次元姿勢と位置が計算できる。そして操作者がディスプレイモニタのどこを向いているかを評価することができる。その結果を使ってモニタ上のカーソルを連動させることができる。

FPGA 素子として、Xilinx, XC4003A を使った。ラスタ座標での3個のLEDの位置座標を1フィールド時間内で検出する。そのブロック図を図4.9に示す。図4.10にFPGA素子を使った処理ボードを示す。

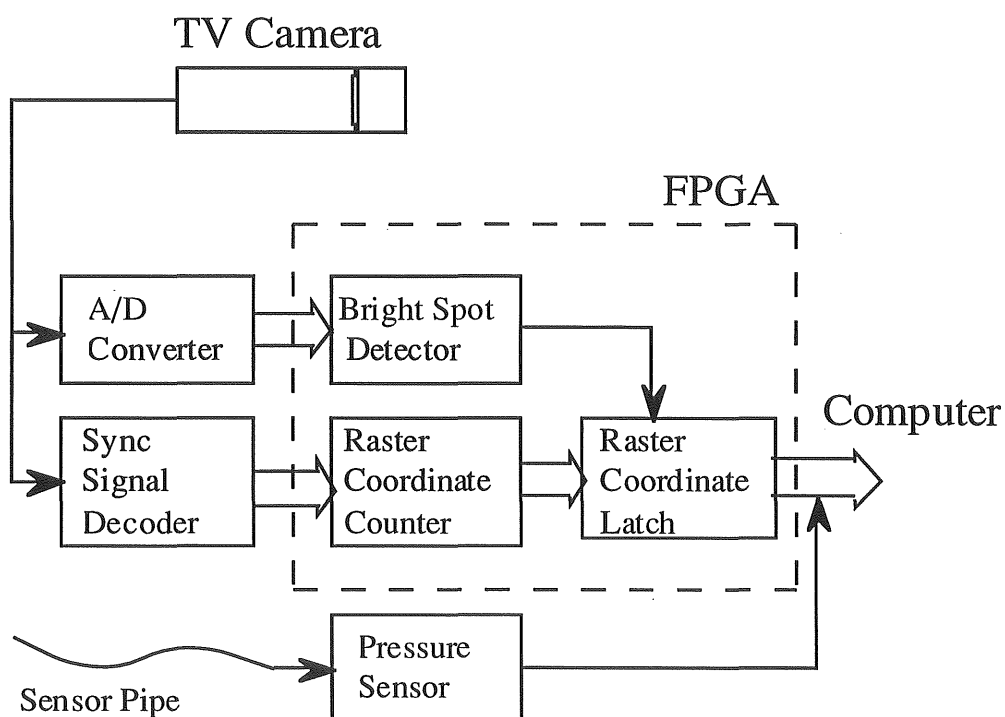


図 4.9 ブロック図

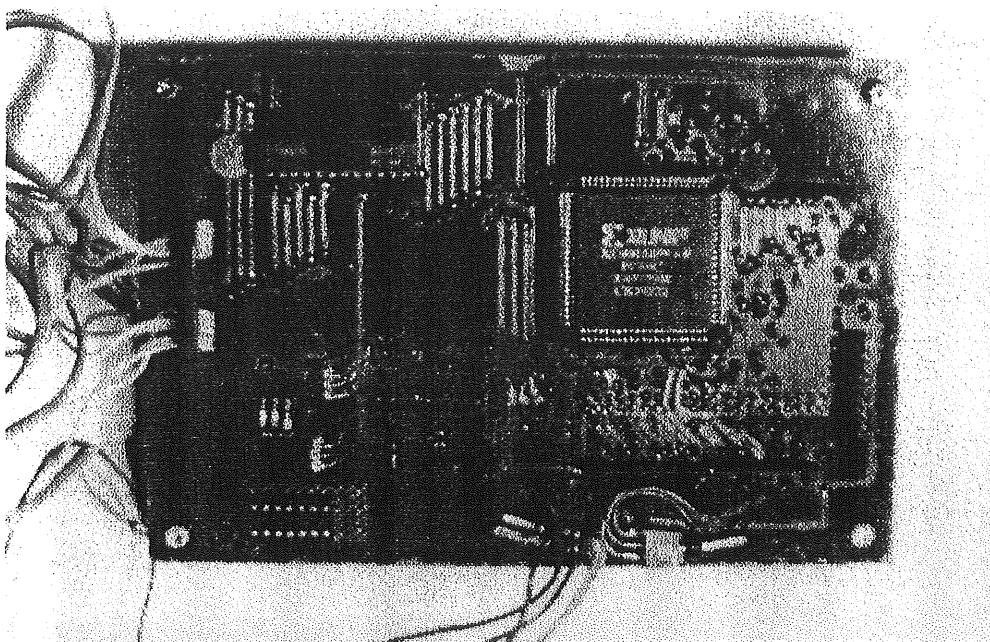


図 4.10 FPGA 素子を使った処理ボード

[ヒューリスティックなアルゴリズム]

3 個の LED の幾何学的位置関係は、予め既知とすると、解析的に眼鏡の 3 次元姿勢と位置は決定できる。解は、4 次方程式の解として求まるが¹⁰³⁾、ハードウェア構

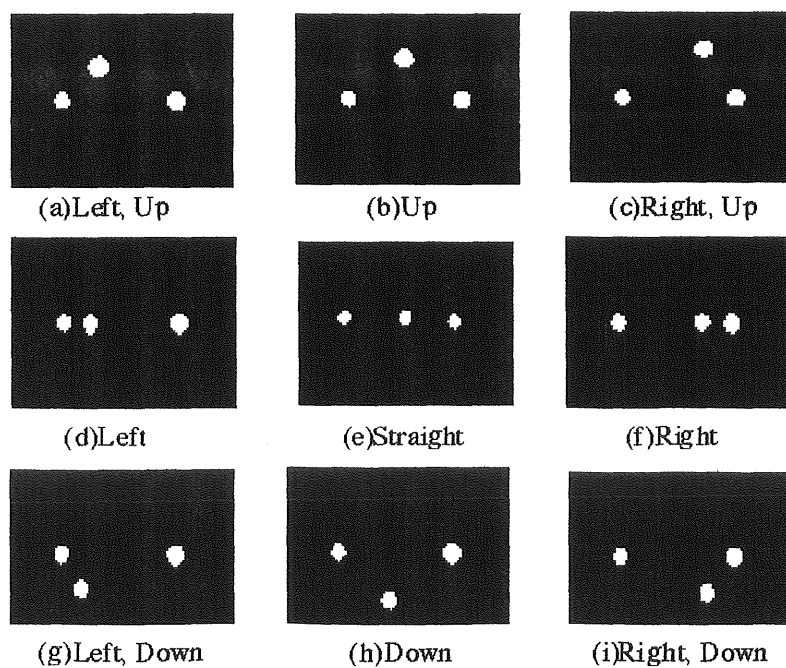


図 4.11 3 個の LED の撮影画像

成を簡単にするために、ヒューリスティックなアルゴリズムを採用した。3 個の LED の特別な配置から、眼鏡の 3 次元姿勢はヒューリスティックに評価できる。操作者が TV カメラに向かって真直ぐならば、3 個の LED は図 4.11(e)に示すように直線上に並ぶ。操作者が上を向いた場合、3 個の LED は図 4.11(b)に示すように観察される。操作者が左上方を向いたときは図 4.11(a)のようになる。

そこでディスプレイモニタ上のカーソルを動かすアルゴリズムとして以下のものを採用した。

(手順 1) 3 個の LED のラスタ座標値 (u_i, v_i) $i=1, 2, 3$ を求める。

(手順 2) 右側の LED、左側の LED ($i=1, 3$) の中点 C のラスタ座標値を計算し、図 4.12 で定義する画面上での L_1, L_2 を計算する。

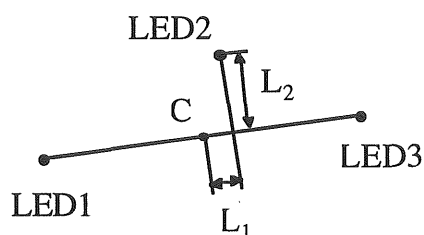


図 4.12 3 次元姿勢を求めるためのパラメータ

(手順 3) ディスプレイモニタ上のカーソルの位置は、以下の関係式で表わす。

$$U = L_1 \cdot k_1 + U_c \cdot k_2$$

$$V = L_2 \cdot k_3 + V_c \cdot k_4$$

ここで k_i ($i=1,2,3,4$) は、カーソルの動きを操作者の動きにマッチさせるための定数である。

なお、手順 3 での関係式の導出は、付録 6. に示す。

[計測精度の評価]

専用眼鏡を使って、指し示した向きの精度を評価した。眼鏡の位置は、TV カメラから 600mm の距離とした。眼鏡の水平方向、及び上下方向の角度を 15 度間隔で -30 度から 30 度に渡って測り、その特性をみた。

その結果を図 4.13 に示す。絶対誤差は 4 度以下で、繰り返し誤差は 0.5 度以下であった。

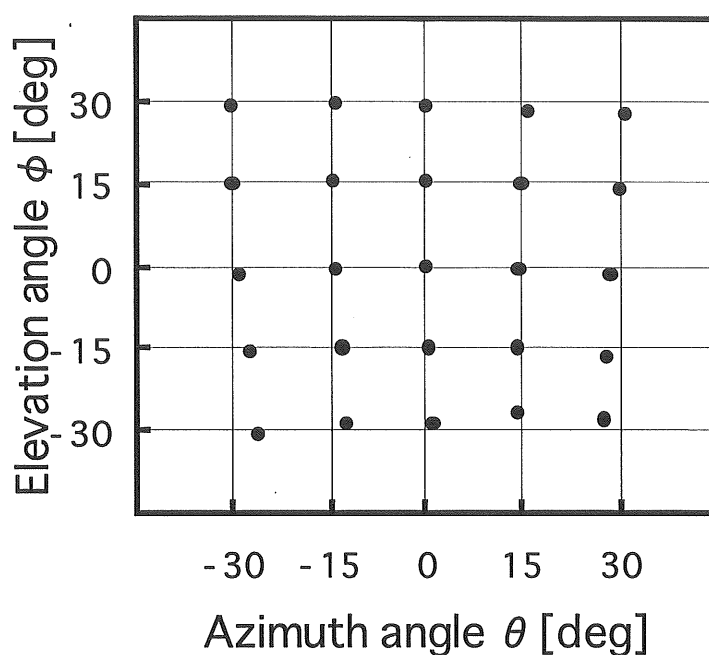


図 4.13 専用眼鏡による指示の計測精度

この方式は、検出が 1 フィールド時間内で処理ができるために、リアルタイムの操作が可能であることが大きな長所であった。

4. 5 光センサを用いたポインティングデバイス

[光センサを用いた計測方法]

さらに、簡便に小型軽量なインターフェイスデバイスが達成できないかを考え、従来のライトペンを遠隔、非接触で実現することをはかった。

原理は、図 4.14 に示すように、視野角を狭めた光センサで CRT ディスプレイモニタを狙い、モニタ上の走査線の輝点を検出する。光センサがモニタ上注視点で走査輝点をキャッチすると、センサ出力がモニタの水平同期信号に同期して出力される。水平同期信号との時間関係をみることでモニタ上の位置を検出できる。

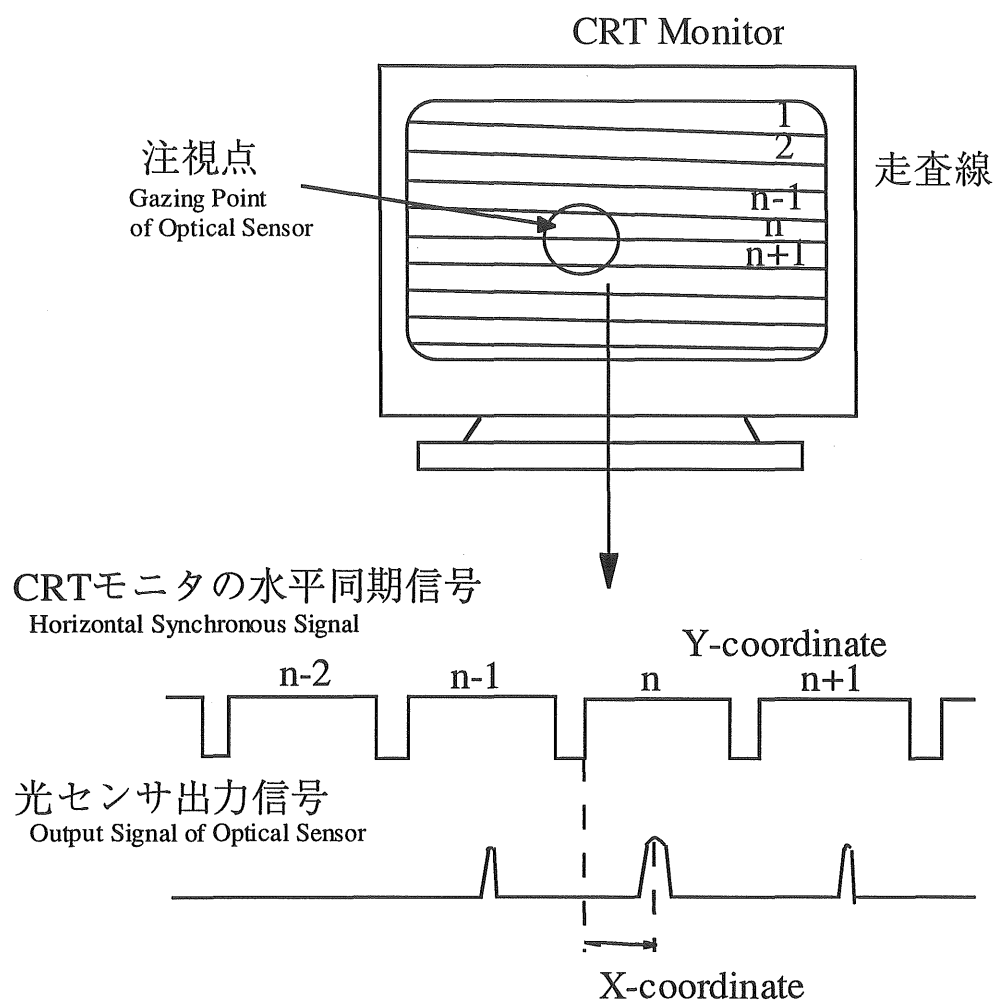


図 4.14 ポインティングの原理

システム構成を図 4.15 に示す。光センサ出力信号のテレビ同期信号との時間関係は FPGA(Xilinx, XC4005A)素子 1 個で構成した信号処理ボードで計算する。このボードは、秒 60 回の検出をはたす。結果は、コンピュータのマウスポートへ送られ、カーソル位置情報とする。図 4.16 に光センサデバイスを示す。写真はヘアバンドに取り付けている。重さは約 20g である。アルミの容器の中は、指示点を狙う集光レンズ、光検知用のフォトトランジスタ、信号増幅用のトランジスタ、ノイズ除去用のコンデンサ各 1 個である。

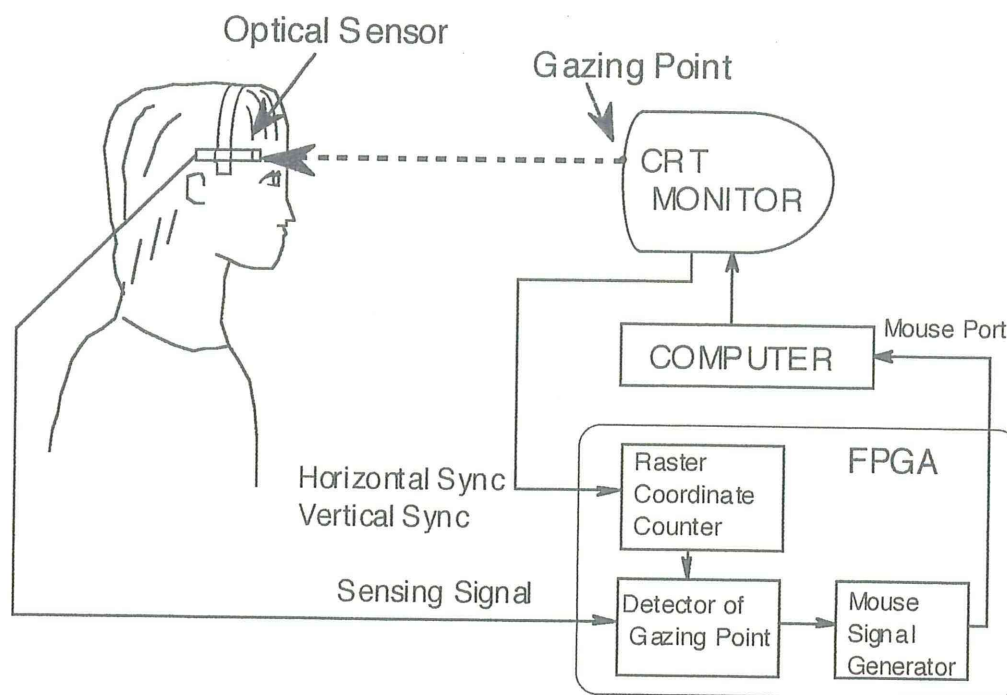


図 4.15 システム構成



図 4.16 光センサデバイス

[計測精度の評価]

精度評価を行った。ディスプレイモニタ上に表示した、横 24cm、縦 17cm の長方形を、光センサデバイスを頭に付けてディスプレイモニタから 50cm の距離でトレースし

た結果を図 4.17 に示す。最大 7mm の誤差であった。次にポインティングの安定性をみるために、先に述べた長方形の中心点と縁 6 カ所について指示を行った。その結果を図 4.18 に示す。誤差は最大で 2.3mm であった。

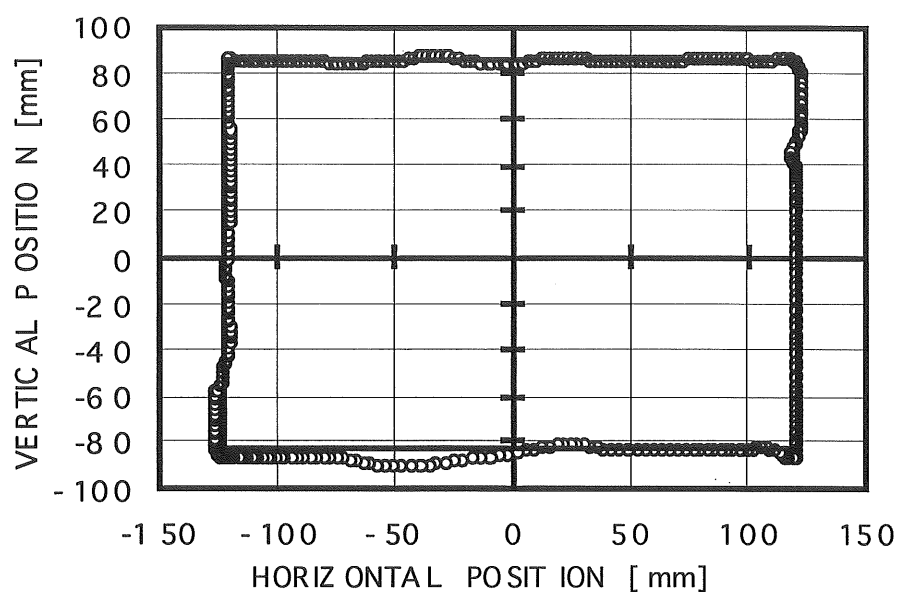


図 4.17 トレースする精度

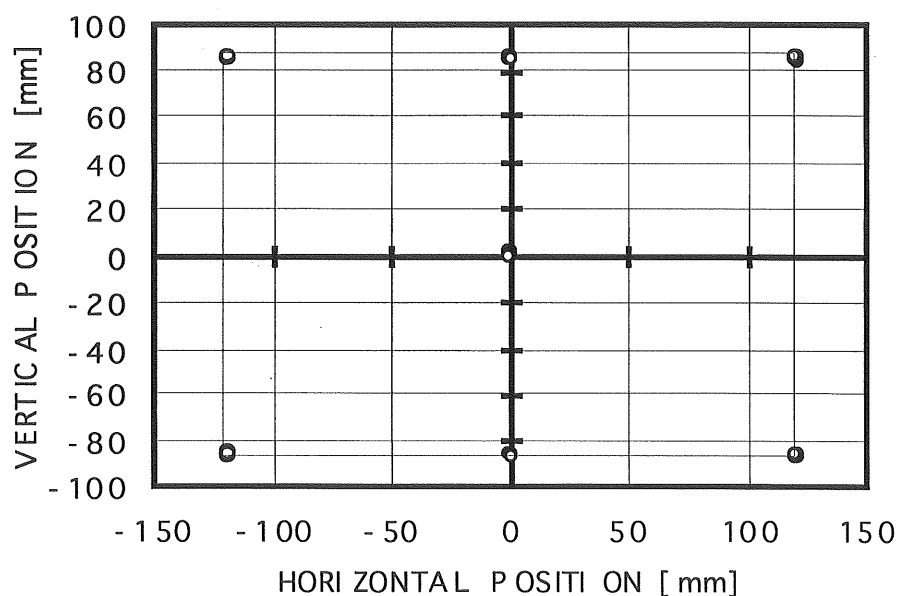


図 4.18 指示精度

この方式は、検出が 1 フィールド時間内で処理ができるために、リアルタイムの操作が可能であることが大きな長所であった。さらに、軽量のデバイスのために装着の

煩わしさがほとんどなかった。但し、欠点はディスプレイモニタがCRTモニタでなくてはならないことである。

4. 6 まとめ

頭部運動をコンピュータ・インターフェイスに利用可能な4方法についてその計測方法を示した。

前半の2方法は、顔の目元、唇、鼻の穴等の特徴点を画像計測により検出し、コンピュータ・インターフェイスに応用しようというものであったが、リアルタイム性に問題があった。顔が傾いたときの眼球運動を補完するという点でメリットがあったが、処理速度の面から現状では、リアルタイム性が重要となるコンピュータ・インターフェイスへの応用の可能性は、薄かった。

後半の2方法は、リアルタイム性を優先した。その結果は、器具の装着なしという条件は崩れたが、コンパクトなものにまとめることができ、かつポインティング精度もよく、コンピュータ・インターフェイスへの応用が可能で有望であることが分かった。

本章の結論を以下に述べる。

- (1) 顔の向きを検出する計測方法を4方法開発し、それぞれに頭を上下左右に振ることでコンピュータ入力を果たすインターフェイスを作成することができた。
- (2) 2台のテレビカメラを用いた方法では、顔の特徴点として両目元と上唇の中心点を選び、その3点を画像処理にて検出し、三角測量の原理に基づき3次元座標を求め、顔の向きを検出することができた。

ディスプレイモニタを上下左右に見る顔の向き角を識別でき、この顔の向きの変化でコンピュータ入力が可能であった。

処理時間がかかり過ぎることとキャリブレーションの手間から、実用性が薄かった。

- (3) 顔画面の対称性に着目した、1台のテレビカメラによる方法では、目、鼻の穴等の対称図形を形成する特徴点を検出することで、(2)の方式に比べ格段に計測系を簡単にして顔の向きを検出することができた。

ディスプレイモニタを上下左右に見る顔の向き角を識別でき、この顔の向きの変化でコンピュータ入力が可能であった。顔画面を広範囲に処理する時間がかかり過ぎることと顔の特徴点間の距離をその都度入力する手間が必要なことから、実用へは今1つのブレイクスルーを要する。

(4) 3 個の L E D を付加した専用眼鏡を用いた方法では、L E D の配置の工夫により、ヒューリスティックな検出アルゴリズムが可能になり、FPGA 素子を使った処理ボードの使用と相まって、顔の向きの検出が 16ms 時間内でのリアルタイム処理ができた。

ポインティング精度も良く、操作も良好であった。何も装着しないということからは外れたが、実用性は高い。

(5) 光センサポインティングデバイスを用いた方法では、FPGA 素子を使った処理ボードの使用により、顔の向きの検出が 16ms 時間内でのリアルタイム処理が可能で、ポインティング精度も良かった。

デバイスは軽量で小さいため、操作しやすく、追従性も非常に良かった。構成部品も低コストで済み、実用性は非常に高いと判断される。但し、欠点はディスプレイモニタが CRT モニタでなくてはならないことである。

第5章 頭部運動を利用する文字入力装置の実現とその適用

5.1 はじめに

四肢麻痺者のポテンシャルは、健常者とおなじであるが、現状では身のまわりの道具を使うのに適切な支援機器がないためにハンディキャップとなっている。

頭部運動の残存機能を利用することは、A D L (Activities of Daily Living、日常生活動作) の高い彼等にとって非常に都合の良い方法である。多くの四肢麻痺者は電動車椅子を利用しており、接近して作業するのが難しく、ボタンを叩くなどは彼等にとって非常に負担が大きい。そのため、非接触で遠隔操作ができる装置が望ましい。

頭が動かせる障害者は、不自由なりに移動、会話ができる。多くの彼等が求めているのが、社会参加の手立てである。そのために、コンピュータマウスに代表されるポインティングデバイスを代替できる機器が強く望まれている^{104,105,106}。彼等がコンピュータで操作する対象は、アプリケーションソフトの操作である。近年のアプリケーションソフトの操作は、ポインティングデバイスなしには考えられないという現状もある。

このような観点から、前章で述べたコンピュータ・インターフェイスをワードプロセッサの入力装置に適用した結果について述べる。

5.2 頭部運動を利用する文字入力装置

前章で開発したコンピュータ・インターフェイス方式を文字入力装置等として作成した。それぞれ評価した結果を以下に順を追って述べる。

[3個のLED付き眼鏡を用いた検出方式の文字入力装置等への応用]

ディスプレイモニタ上に図5.3に示すアルファベット表や機器メニュー項目を表示させ、ワードプロセッサと環境制御装置を作成した。操作者は、専用眼鏡を掛け、頭を上下左右に振ることで望みの文字もしくは機器項目を選択する。入力確定は、一定時間選択を保持するか、圧力センサに繋がった管を吹くことで行う。確定した文字は、画面下部に列記されるようにした。環境制御装置の場合は、接続した機器を起動させ

た。

システム構成は、図 4.6 に示した。また環境制御装置とした場合のブロック図を図 5.4 に示す。特徴は、リアルタイム画像処理演算部を FPGA で作成し、追加したことがある。

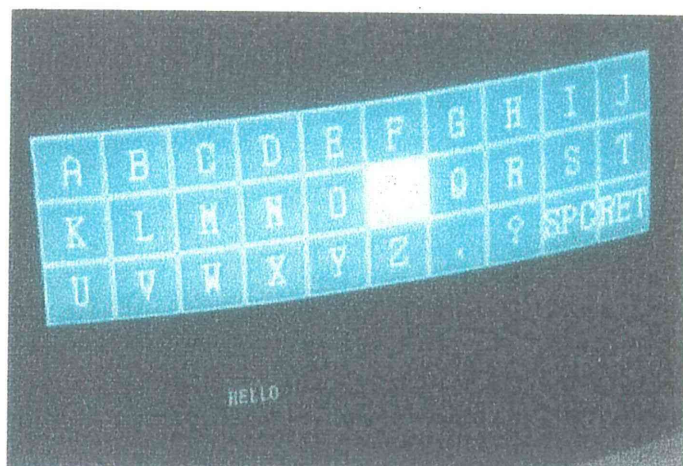


図 5.3 アルファベット表

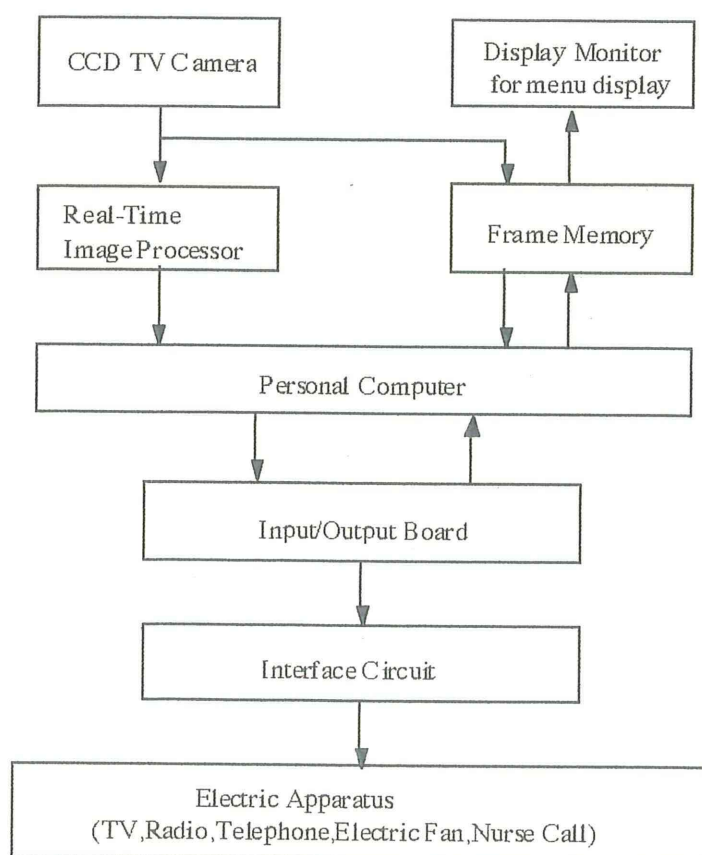


図 5.4 ブロック図

重度身障者によるテストを行った。環境制御装置では、操作メニュー項目の選択/実行の操作は満足できるものとして機能した。また、ワードプロセッサのテストでは、図 5.4 のように、約 20 分の練習で文字表の選択も行え、困難なくメッセージを綴ることができた。

このように、3 個の LED を付加した専用眼鏡により、障害者が頭を意図的に動かしてコンピュータと対話することが可能となった。また、FPGA チップの採用によって、インターフェイスをコンパクトにまとめることができた。

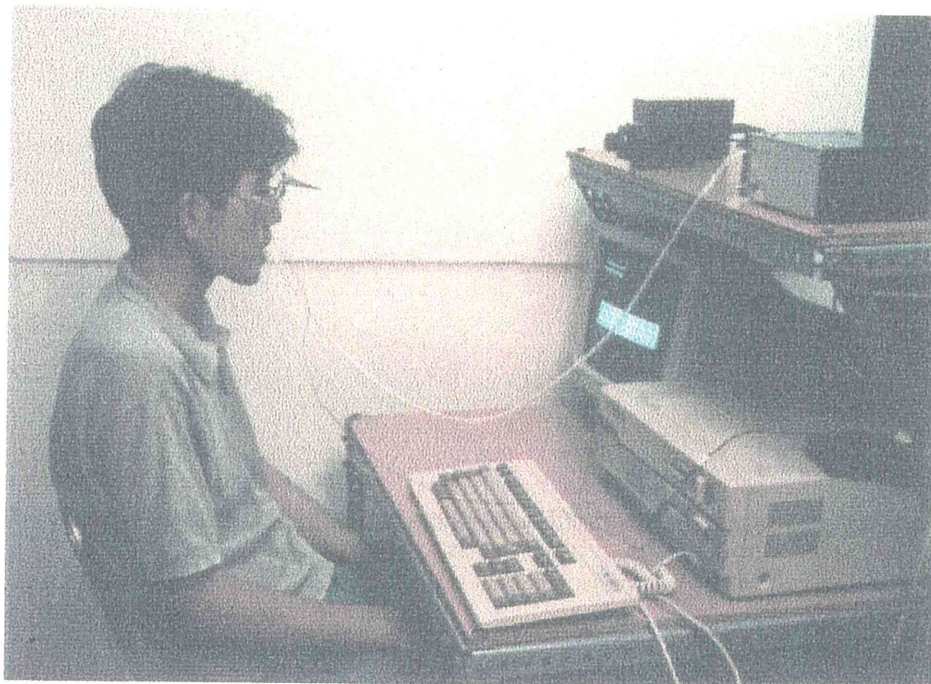


図 5.5 文字入力テスト

[光センサポインティングデバイスを用いた文字入力装置への応用]

このインターフェイスをワードプロセッサの入力装置として作成し、重度身障者によるテストを行った。システム構成は、図 4.14 に示したが、パーソナルコンピュータ (NEC, PC9821)、アルファベット等の文字表を表示する CRT モニタ (17 インチサイズ)、FPGA 素子を用いた信号処理ボードから構成される。操作者は、光センサデバイスを取り付けたヘアバンドを頭に付ける。操作者は、頭の動きでモニタ上のカーソルを動かし、文字を選択する。カーソルを一定時間保持することで入力の決定とする。ほぼ練習なしに、図 5.6 のように、文字表の選択が行え、文章の作成ができた。

試みに“BOYS_BE_AMBITIOUS.”の 13 文字を入力するテストを 5 人が行った。それ

ぞれ 55 秒、68 秒、60 秒、53 秒、70 秒で入力達成され、健常者と変わらなかった。

このように、光センサポインティングデバイスにより、障害者が頭を意図的に動かして容易にコンピュータと対話することが可能となった。また、FPGAチップの採用によって、インターフェイスをコンパクトにまとめることができた。

操作姿勢も自由にできるため、操作は非常に容易だった。取り付け器具も軽量で操作者の負担はほとんどなかった。

テスト風景を図 5.6 に示す。

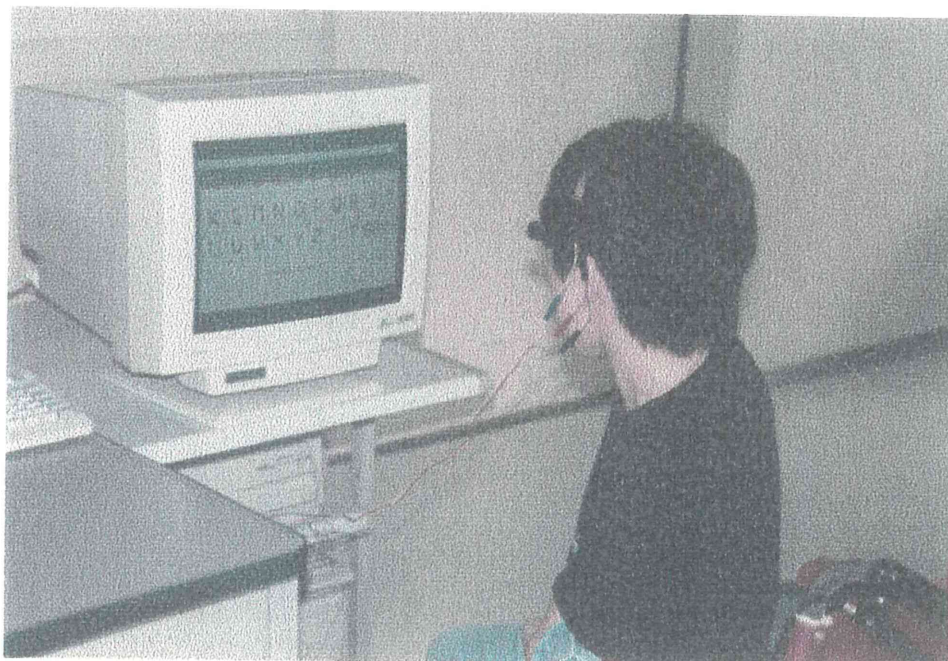


図 5.6 評価例

5. 4 まとめ

頭の向きの計測について開発した実用性の高い 2 方法について、文字入力装置等への適用をはかった。3 個の LED 付き専用眼鏡を用いる方法、光センサポインティングデバイスを用いる方法の両方法とも、リアルタイム性に関して優れており、装着器具を付けなくてはならないが、軽量なものですむため、操作性が優れていた。またシステムがコンパクトで済むため、実用装置として有望であることが分かった。

身障者によるテストで、コンピュータマウスの代わりとして、上下左右にカーソルのポインティング操作が可能であることが確認できた。今後、ポインティングデバイスとしてまとめ上げを行い、社会参加、就労まで使えるインターフェイスにしたい。

本章の結論を以下に述べる。

(1)障害者による評価を行った結果、小型軽量の検出デバイスを用いるが、特に支障なく、操作性が高く、実用性が高いことが分かった。

FPGA 素子を使った処理回路は、16msでのリアルタイム処理が可能にし、頭の動きへの追従性がよかった。テレビ画面を見る感覚で、少しの首の動きだけで、マウスカーソルを移動することができた。

(2)頭部の保持、動作に伴う疲れや緊張感もなく、車椅子での操作もスムーズで、好評であった。

(3)光センサを用いたポインティングデバイスは、軽く、また周りの明るさの影響を受けずに、モニタ上の注視点を正確に指示することができ、さらに低価格の材料費で作成ができることから、特に評価が高かった。

(4)入力方法として、カーソルを一定時間望みの文字の上に静止させるやり方は、有用であった。

またメニュー表示画面として、Windows 95のOS上で動くフリーソフトをいくつか利用し、操作を行ったが、通常のポインティングデバイスと同様に操作ができた。開発したインターフェイスの実用性が高いことを確認することができた。

第6章 結論

本研究では、重度身障者の残存機能有効利用として、障害が進んでも最後まで残るといわれる眼球運動とニーズの大きい頭部運動の残存機能のコンピュータ・インターフェイスへの応用の可能性について検討し、それらの運動を利用した身障者自立支援のための環境制御装置の実現について述べた。

障害者が意図する上述の運動を検出する計測方法を提案し、自立をはかるための検出装置を作成し、実験を行った。障害者が実際に使えるものにするために、その使用環境を検討し、環境制御装置にまとめた。障害者による評価の結果、実用に供せることが明らかになった。

以下に本研究で得られた結論をまとめる。

6.1 眼球運動を有効利用する方法の結論と考察

TVカメラを用いた画像計測法により、顔画像の中から、目の運動(視線の向き、瞼の開閉)を検出することを考え、人の視線の上下左右への動きを観察解析し、左右の動きが明瞭に観察され、利用できることを確認した。

顔画像の中から、ウイंकをすることで両目の部分をリアルタイムで抽出するアルゴリズムを開発した。瞳の向き(視線)を精度よく短時間で検出するためのアルゴリズムを2手法考え、検出精度が充分得れるコンパクトな視線検出法を開発した。操作者が所定の位置を前後に外れて位置しても、多少斜めに向いても、視線を左／正面／右と検出することになると十分な精度で検出できることを確認した。

障害者が実際に使える装置を実現するために、操作を行う対話用ディスプレイモニタを、視線を捉えるための小型テレビカメラと真正面から視線を捉えるために用いたハーフミラーと一体化し、ベッドの上に吊せる用に軽量コンパクトなものとし、環境制御装置を作成した。この装置では、対話用ディスプレイモニタ上に操作項目を絵柄で表した見やすいボタンを表示配置し、また撮像している顔画像と眼球運動の検出状況をモニタ上に操作項目と重ねて表示し、安心感を出した。大人、子供、男性、女性等誰でも使えるように個人差に対応するためにパラメータを抜き出し、種々の目の形状に対応する機能、装置の応答スピードをゆっくりできる機能、合図の目を閉じる時間の調整機能等を設け、障害者用を考慮したユーザインターフェイスを盛り込んだ。

こうして、ベッドサイドに設置でき、テレビ、ビデオ、緊急電話、信号灯、音声メ

ッセージ、ワープロ、コンピュータマウス代用等の各操作ができる環境制御装置を実現した。障害者の方に操作していただき、操作可能であることを確認した。また、眼球運動を除いて全身の筋肉の随意運動が効かない筋萎縮症側索硬化症(A L S)の在宅患者の方も操作可能であることを確認した。眼球運動を使うため、一連の操作を達成するのに時間は要するが、操作のコツを覚えるのに人により練習が必要な場合があるが、使う意志があれば使える装置が実現できた。

6. 2 頭部運動を有効利用する方法の結論と考察

顔の向きを検出する計測方法を4方法開発し、それぞれのコンピュータ・インターフェイスへの応用の可能性を検討した。それぞれに頭を上下左右に振ることでコンピュータ入力を果たすインターフェイスの作成を行ったが、以下の結果を得た。

2台のテレビカメラを用いた検出方法は、顔の特徴点として両目元と上唇の中心点を選び、その3点を画像処理にて検出し、三角測量の原理に基づき3次元座標を求めることによって、顔の向きを検出した。ディスプレイモニタを上下左右に見る顔の向き角を識別でき、この顔の向きの変化でコンピュータ入力が可能であったが、処理時間がかかり過ぎることとキャリブレーションが大変なことから、実用性が薄かった。

顔画面の対称性に着目した、1台のテレビカメラによる検出方法は、目、鼻の穴等の対称図形を形成する特徴点を検出することで、上記の方法に比べ格段に計測系を簡単にして顔の向きを検出することができた。やはりディスプレイモニタを上下左右に見る顔の向き角を識別でき、この顔の向きの変化でコンピュータ入力が可能であった。顔画面を広範囲に処理する時間がかかり過ぎることと顔の特徴点間の距離をその都度入力する手間が必要なことから、実用へは今1つのブレイクスルーを要する。

3個のLEDを付加した専用眼鏡を用いた検出方法は、LEDの配置を工夫したことによって、ヒューリスティックな検出アルゴリズムが可能になり、FPGA素子を使った処理ボードの使用と相まって、顔の向きの検出が16ms時間内でのリアルタイム処理ができるようになった。ポインティング精度も良く、重度身障者による操作も良好であった。何も装着しないということからは外れたが、実用性は高いと思われる。

光センサポインティングデバイスを用いた検出方法では、この方式もFPGA素子を使った処理ボードの使用によって、顔の向きの検出が16ms時間内でのリアルタイム処理が可能で、ポインティング精度も良かった。さらに、この光センサポインティングデバイスは軽量で小さいため、操作しやすく、重度身障者による操作も非常に良かった。また、構成部品も低コストで済み、実用性は非常に高いと判断される。但し、欠

点はディスプレイモニタがCRTモニタでなくてはならないことである。

前半の2方法は、顔の目元、唇、鼻の穴等の特徴点を画像計測により検出し、コンピュータ・インターフェイスに応用しようというものであったが、リアルタイム性に問題があった。顔が傾いたときの眼球運動を補完するという点でメリットがあったが、処理速度の面から現状では、コンピュータ・インターフェイスへの応用の可能性は、薄かった。後半の2方法は、リアルタイム性を優先した。その結果は、器具の装着なしという条件は崩れたが、コンパクトなものにまとめることができ、コンピュータ・インターフェイスへの応用が可能であることが分かった。前半2方法は、顔を左右に振ることでカーソルを移動させ、頷くことで入力確定を行えた。後半2方法は、コンピュータマウスの代わりとして、上下左右にカーソルのポインティングが可能で、重度身障者による操作が可能であった。

表 6.1 に各章で提案した検出方法とコンピュータ・インターフェイスへの応用での特徴について示す。

表 6.1 各章で提案した検出方法の特徴

検出方法	対象とする残存機能と操作方法	コンピュータ・インターフェイスへの応用の可能性	実用性	課題
TVカメラによる 顔の開閉と、瞳孔の目元、目尻に 対する位置の検出	眼球運動(顔の開閉と水平 方向の視線の向き) 視線の向きでメニュー項 目を選択し、顔を閉じるこ とで入力確定とする。	◎ 急に頭が大きく動かな ければ可能 ALS、寝たきり者等最重 度障害者用	◎ 環境制御装置アイコ ントローラとして実 現 ALS 患者者、重度障 害者使用可能	処理速度の 向上 小型化 低コスト化
2台のTVカメラ による顔の特徴 点3点の検出	頭部の上下左右を向く運 動 左右の向きでメニュー項 目を選択し、下を向くこ とで入力確定とする。	○ リアルタイム性に難 肢体不自由な重度障害 者用	× 装置規模が大きい	処理速度の 格段の向上
1台のTVカメラ による顔面で対 称図形を形成す る特徴点の検出	同上	○ 同上	△	処理速度の 向上

3 個の L E D 付 専用眼鏡によ る検出	頭部の上下左右を向く運 動 上下左右の動きでコンピ ュータマウスカーソルを 操作する。	◎ 肢体不自由な重度障害 者用	○ 低コストである 重度障害者使用可能	小型化
光センサポイン ティングデバイ スによる検出	同上 同上	◎ 同上	◎ 非常に低コストであ る 重度障害者使用可能 CRT モニタ以外は使 えない	実用機能の 付加

四肢麻痺（頸髄損傷者、脳卒中寝たきり者等）、四肢欠損、上肢障害等の重度身体障害者には、介護者に依頼内容を正しく伝えたい、介護者と意志疎通を図りたいし、健常者と同じようにＴＶ，ＶＴＲなどの機器を自分で操作し、楽しみ、ストレス発散をしたい、社会参加して就業をはかりたいと言う要望がある。

これらの人達のための自立支援機器は、これまで何らかの器具を装着することを求め、そのために使用上、使用デバイスの防塵対策や誤入力防止、検出感度調整等が必要であった。使用者に負担をかけることは当然であった。１番の課題は、使用にあたって介助者の助けを必要とすることであった。障害者は、日常生活を送る上で各種の介助、代行を必要とする。有用な道具があれば、生活の質を上げることができ、また介助者への依存を軽減することができる。

使用者に負担をかけることなく、また介助者の助けをほぼ必要とせず、管理が楽な装置を実現できた。これは、障害者自立支援にとって大いに助けになるものと思われる。これらの装置の開発が進むにつれ、福祉施設、障害者の方、企業等からの問い合わせが増えてきており、激励を受けている。アイコントローラ装置は、操作性の向上と実用機能の追加で、実用レベルのものになってきた。地場企業の協力も得て、現在製品化への取り組みを行っている。本研究は、これから急速に立ち上がると予測される福祉機器製品分野の企業化支援に大いに寄与すると考えている。今後、障害者を取り巻く生活環境(コミュニケーション、リハビリ、介護、教育)へのアクセスをはかる支援装置の開発へと発展させたい。

謝辞

平成6年度に、長崎大学大学院・海洋生産科学研究科に入学して以来、御丁寧なる御指導と御鞭撻を賜りました本学・海洋生産科学研究科教授 石松隆和 博士に心から感謝申し上げます。

また、本論文の審査に際して御指導を賜った本学・海洋生産科学研究科教授 茂地徹 博士、同教授 棚橋由彦 博士、同教授 黒田英夫 博士に厚く感謝の意を表します。

本研究を進めるに当たり、ご協力いただいた本学工学部今井清利技官を始め機械制御学研究室の各位、特に森本和章氏、入江直樹氏に感謝し、御礼を申し上げます。

試作装置の評価に当たっては、社会福祉法人じゅもん会ワイドビジョン(理事長 小峰義尚氏)の皆様方に、御協力いただき、貴重な意見、感想を得ることができました。厚く御礼申し上げます。また闘病の中、技術の発展のため御協力いただいた患者の方とご家族の方に厚く御礼申し上げます。さらに、臨床的知見をいただいた長崎大学医療技術短期大学部教授吉村俊朗博士、同作業療法科東登志夫氏に御礼申し上げます。

装置開発に当たり、㈱日本ビジネスソフトの代表取締役 小原三徳氏や下山典大氏を始め、社員の方にお世話になりました。各位に感謝し、御礼申し上げます。

また、研究成果をまとめあげる上で何かと御協力いただいた八代工業高等専門学校機械電気工学科 下町多佳志 博士、宇部工業高等専門学校 落合積助教授に感謝し、御礼を申し上げます。

最後に、本研究を行う機会を与えていただき、深い御理解と暖かい御援助を賜りました長崎県工業技術センター所長 長田純夫 博士、機械金属部長 森田英毅 博士、電子科長 永田良人 氏を始めとする長崎県工業技術センターの皆様方に感謝し、御礼申し上げます。

その他、本研究を行うに当たりお世話になった全ての方々に深く感謝致します。

平成9年12月

高見 修

参考文献

- 1)厚生省編：“厚生白書平成3年度版”、厚生統計協会 (1992)
- 2)“平成5年10月1日現在推計人口”、総務庁統計局 (1994)
- 3)土肥：“長寿社会の支援技術”、精密工学会誌、Vol.59,No.5,pp.5-9 (1993)
- 4)辻：“高齢者計測技術”、精密工学会誌、Vol.59,No.5,pp.15-18 (1993)
- 5)土肥：“ライフサポートテクノロジーの今後の展開”、日本ME学会誌、Vol.7,No.4, pp.44-51 (1993)
- 6)通産省公報：“福祉用具法施行”、平成5年11月10日号、pp.13-36 (1993)
- 7)通産省機械情報産業局編：“福祉用具産業政策の基本的方向”、(財)通商産業調査会、 (1997)
- 8)新エネルギー・産業技術総合開発機構：“福祉用具の実用化にむけて'95” (1995)
- 9)斎藤正男監修：“福祉用具の明日を拓く”、環境新聞社 (1995)
- 10)日本障害者協議会編：“障害者の生活環境改善手法”、彰国社 (1994)
- 11)ユーダ・ブック制作委員会：“誰も書かなかった福祉機器の本”、(株)ユーダ (1992)
- 12)こころリソースブック編集会編：“こころリソースブック”、こころリソースブック編集会 (1995)
- 13)山崎、川原：“コミュニケーションエイド入力デバイスの工夫—その1—”、第5回リハ工学カンファレンス論文集、 pp.363-366 (1990)
- 14)手塚：“障害者福祉論”、光生館 (1995)
- 15)時事通信社編：“福祉機器用品最新情報”、時事通信社(1993)
- 16)畠山：“環境制御装置の現状”、第2回リハ工学カンファレンス論文集、 pp.69-74 (1987)
- 17)宮尾：“ヒューマン・インターフェイスへの公衆衛生学からのアプローチ”、Human Interface, Vol.9, No.2,pp.85-92 (1994)
- 18)黒川：“ノンバーバルインターフェイス”、オーム社(1994)
- 19)(財)情報科学国際交流財団編：“コンピュータと人間の共生-コンピュータによる障害者支援の展望”、コロナ社 (1994)
- 20)寺山、大喜多、相良：“テクニカルエイド”、三輪書店 (1994)
- 21)畠山他：“重度肢体障害者用パソコン入力装置(KBマウス)の適用”、第5回リハ工学カンファレンス論文集、 pp.269-270 (1990)
- 22)河村、土肥、大島：“ジョイスティック型マウスの試作”、第5回リハ工学カンファレンス論文集、 pp.231-232 (1990)

- 23)“特集/コミュニケーション”、リハビリテーション・エンジニアリング、Vol.8,No.2 (1993)
- 24)TIME, FEBRUARY 8, pp.38-40 (1988)
- 25)伊藤、岡村、松本：“肢体不自由者のコミュニケーション支援機器”、リハビリテーション・エンジニアリング、Vol.8,No.2,pp.7-14 (1993)
- 26)“目で打つワープロ”、竹井機器工業(株)製品資料、(1992)
- 27)手嶋、山内：“生活支援機器”、B M E、Vol.2,No.11,pp.731-736 (1988)
- 28)Demasco,P.W.,McCoy,K.F.：“Generating text from compressed input”, Comm.of ACM, Vol.35, No.5, pp.68-78 (1992)
- 29)小澤他：“ALS 患者向け意志伝達装置伝の心の開発”、第 12 回リハ工学カンファレンス論文集、pp.91-96 (1997)
- 30)田辺・杉山・石山・磯野：“時系列顔画像を用いた瞬目のリアルタイム抽出”、Human Interface, Vol.10 No.1,pp.19-24 (1995)
- 31)石川、小林、保坂他：“新しいめまい検査システムの開発—虹彩紋理追跡法を用いた眼振 3 成分解析法—”、医用電子と生体工学、Vol.33,No.3,pp.192-202 (1995)
- 32)Y.G.Lu、河合、田村：“高速画像正規化関連ハードウェアによる両眼眼球運動の測定”、医用電子と生体工学、Vol.25,No.3,pp.213-219 (1987)
- 33)大門：“動画像処理によるドライバーの視線自動検出”、人間工学、Vol.31,No.1,pp. 39-50 (1995)
- 34)H.Sakaino,A.Tomono and F.Kishino：“A Kalman Filtering with a Gaze-Holding Algorithm for Intentionally Controlling a Displayed Object by the Line-of-Gaze”,IEICE TRANS, FUNDAMENTALS, E76-A-3,pp. 409-424 (1993)
- 35)武田：“視覚の他覚計測:感覚を定量化する技術”、計測と制御、Vol.31,No.9,pp.980-985 (1995)
- 36)生体工学用語辞典編集委員改編：“生体工学用語辞典”、日本規格協会(1995)
- 37)野呂影勇編：“図説エルゴノミクス”、日本規格協会(1990)
- 38)日経メカニカル、1992 年 11 月 2 日号,pp.60
- 39)T.Shimomachi et al.：“A robot control method by eyeball movements”,ASIA-PACIFIC VIBRATION CONFERENCE '93, pp.1038-1041 (1992)
- 40)(株)クレアクト：“アイ・トラッキングシステム製品資料”、(1996)
- 41)伊藤、数藤：“視線入力コミュニケーション機器開発のための精度・分解能の検討”、第 10 回リハ工学カンファレンス論文集、pp.91-96 (1995)
- 42)山田、福田：“眼球運動による文章作成・周辺機器制御装置”、電子通信学会論文誌、Vol.J69-D No.7,pp.1103-1107 (1986)

- 43)山田、福田：“画像における注視点の定義と画像分野への応用”、電子通信学会論文誌、Vol.J69-D No.9,pp.1335-1342 (1986)
- 44)永田・千島・新田：“眼球運動を利用したコミュニケーションシステムの開発およびその利用訓練”、第8回リハ工学カンファレンス論文集、pp.134-135 (1993)
- 45)飯田、伴野、小林：“視線検出を利用したヒューマン・インターフェイスの一検討”、Human Interface、Vol.4, No.3, pp.239-244 (1989)
- 46)飯田、伴野：“頭部の動きを許容した注視点検出装置と指示入力への応用”、電子情報通信学会論文誌、J74-D-II, pp.520-527 (1991)
- 47)山田、福田：“視線の動きから見た行動の分析”、Human Interface、Vol.4, No.3, pp.225-232 (1989)
- 48)橋本：“眼球運動の高感度位置検出装置”、センサ技術、Vol.12, No.5, pp.18-23 (1992)
- 49)土肥、河村、大島：“PSD素子を用いた光マウスの試作”、第5回リハ工学カンファレンス論文集、pp.233-236 (1990)
- 50)鈴木、野崎、太田、土肥：“高齢者のための視線検出による入力装置の開発”、第3回バイオエンジニアリングシンポジウム講演論文集、pp.12-13 (1994)
- 51)桜井：“磁気変換技術を使った3次元計測システム”、PIXEL, No.121, pp.39-41
- 52)伊藤、大橋、飯塚：“ペン型ポインティング・デバイスの開発”、第10回リハ工学カンファレンス論文集、pp.269-272 (1995)
- 53)林、太田、山海：“視覚代行装置に関する基礎的研究”、SICE'92, pp.461-462 (1992)
- 54)塚越、山北、古田：“ウインドウシステムでの視線からの注視ウインドウ検出法”、SICE'92, pp.455-456 (1992)
- 55)竹田：“人口現実感による上肢訓練および筋力計測システムの開発”、バイオメカニズム学会誌、Vol.12, pp.265-279 (1994)
- 56)小泉、畠山、春日：“高位頸髄損傷者用パソコン入力装置の開発”、第12回リハ工学カンファレンス論文集、pp.97-102 (1997)
- 57)金井：“生体計測の現状と展望”、計測と制御、Vol.27, No.3, pp.191-197 (1995)
- 58)平岩：“頭皮準備電位による意図の伝達”、計測と制御、Vol.31, No.2, pp.320-321 (1991)
- 59)阿部、今村、末田：“脳波による Brain-Computer Interface の基礎的研究”、第10回リハ工学カンファレンス論文集、pp.237-240 (1995)
- 60)阿部、今村、末田：“アテトーゼ型脳性麻痺者への Brain-Computer Interface の試み”、第10回リハ工学カンファレンス論文集、pp.241-244 (1995)
- 61)鈴木、満武、山口他：“コンピュータが実現するテレキネシス-脳波によるヒューマン・インターフェイス”、第3回バイオエンジニアリングシンポジウム講演論文集、pp.82-83 (1994)

- 62)津田、上野：“視覚の仮現運動特性と関連誘発脳波解析”、医用電子と生体工学、Vol.31, No.2,pp.191-196 (1993)
- 63)“BioControl Systems 製 BioMuse 製品資料”、松下電器産業㈱ (1995)
- 64)H.S.Lusted et al.：“Biocontrollers for Virtual Environments”, VIRTUAL REALITY SPECIAL PEPOR, (1993)
- 65)J I S C6802
- 66)清水編：“生物の目とセンサ”、情報調査会 (1985)
- 67)K.T.Spoehr,S.W.Lehmkuhle：“視覚の情報処理”、サイエンス社(1986)
- 68)近藤：“高齢化社会と商品開発”、日本規格協会 (1994)
- 69)E & Cプロジェクト編：“「バリアフリー」の商品開発”、日本経済新聞社 (1994)
- 70)伊藤他：“地域リハビリテーションマニュアル”、三輪書店 (1995)
- 71)鈴木他：“筋萎縮症側策硬化症患者に対する生活支援の試み”、第5回リハ工学カンファレンス論文集、pp.369-372 (1990)
- 72)山口、高松監修：“リハビリテーションと生活環境”、相川書房 (1994)
- 73)金子他：“マルチメディアによる障害者の職域開発”、第10回リハ工学カンファレンス論文集、pp.315-318 (1995)
- 74)川上：“意思伝達装置の課題とコミュニケーション指導”、第10回リハ工学カンファレンス論文集、pp.495-498 (1995)
- 75)野村：“バリアフリー”、慶応通信 (1995)
- 76)A.Enders：“The Challenging Context of Assistive Technology:A View from the USA”,Proc. REIS'92,pp.1-20 (1992)
- 77)O.Sueda：“Supporting Technology for Working and Independent Living of the Disabled in Japan”,Proc.REIS'92,pp.47-58 (1992)
- 78)米田、舟久保：“寝たきり障害者介助機器システムの開発と展望”、エル・エス・ティ学会誌、Vol.1, No.2,pp.61-67(1986)
- 79)稲田、堀尾：“在宅医療におけるME技術の応用の現状と課題”、BME、Vol.7, No.10, pp.1-7(1993)
- 80)通産省機械情報産業局電子機器課監修：“情報機器やさしさガイドライン情報処理機器アクセシビリティ指針”、㈱日本電子工業振興協会 (1990)
- 81)みんなのねがいネット編：“障害者のパソコンワープロ通信入門”、全国障害者問題研究会出版部 (1994)
- 82)奥：“障害者電子機器の規格化・標準化の基礎的研究”、第8回リハ工学カンファレンス論文集、pp.20-23 (1993)
- 83)亀山他：“階層構造と遠隔操作機能を有するECSの試用”、第10回リハ工学カンフ

- アレンス論文集、pp.399-402 (1995)
- 84)三坂、日座：“高齢者に心を配った家電機器の操作部表示文字を探る”、日経エレクトロニクス、No.559,pp.183-193 (1992)
- 85)H.Kawakami：“Human Interface for the Severely Physically Handicapped”,Proc.REIS'88, pp.15-22 (1988)
- 86)川上：“重度障害者用ソフトウェアにおけるユーザ・インターフェイス”、第2回リハ工学カンファレンス論文集、pp.5-10 (1987)
- 87)久保、青木、柳原：“機能を追加・変更できる意思伝達・環境制御装置総合システムの開発”、第10回リハ工学カンファレンス論文集、pp.233-236 (1995)
- 88)林、高原、末田：“コミュニケーション・エイド操作中のストレス評価”、第12回リハ工学カンファレンス論文集、pp.135-138 (1997)
- 89)鈴木：“日本人のからだ”、朝倉書店 (1996)
- 90)江藤他編：“リハビリテーション医学レビュー”、三輪書店 (1994)
- 91)上田：“リハビリテーション医学の世界”、三輪書店 (1994)
- 92)関、坂本、山崎編：“人間の許容限界ハンドブック”、朝倉書店 (1990)
- 93)T.Ishimatsu,N.Taguchi,T.Ochiai and T.Ohata:“Fast Three-Dimensional Measurement Technique Using a Reference Table”,JSME,3,Vol.35,No.4,pp.611-615 (1992)
- 94) K.S.Fu,R.C.Gonzalez,C.S.G.Lee：“ロボティクス”、日刊工業新聞社(1989)
- 95)井田、佐藤：“三次元画像計測”、昭晃堂 (1990)
- 96) B.K.P.Horn：“ロボットビジョン”、朝倉書店(1993)
- 97)高野：“形状パターンの認識技術”、情報調査会 (1987)
- 98)青山、川越：“面对称性を利用した顔・視線方向の計測と認識法”、Human Interface, Vol.4,No.3,pp.245-254 (1989)
- 99)出口、多田羅：“画像合成のための高速・簡易カメラ”、計測自動制御学会論文集、Vol.31,No.8,pp.1015-1022 (1995)
- 100)佐久間、宮下、佐藤：“単眼画像を用いた3次元物体の位置決定”、計測自動制御学会論文集、Vol.32,No.5,pp.661-619 (1996)
- 101)大村、伴野、小林：“単眼視画像による顔の向き検出法の指示入力への応用”、電子情報通信学会論文誌、Vol.D-II, No.9,pp.1441-1447 (1989)
- 102) Y.W.Choi、高橋、前川：“三角錐スリット光投影法による対称平面の距離とその姿勢の計測”、計測自動制御学会論文集、Vol.32,No.4,pp.445-450 (1996)
- 103)出口：“画像と空間”、昭晃堂 (1991)
- 104)池本他：“マウス操作における人間の認知情報処理過程の研究”、情報処理学会、マイクロコンピュータとワークステーション研究会、Vol.50,No.1 (1988)

- 105)池本他：“計算機利用環境におけるヒューマン・インターフェイス”、Human Interface, Vol.4, No.3, pp.259-268 (1989)
- 106)石原他：“手入力を伴わないヒューマン・インターフェイスの基礎的研究”、第10回リハ工学カンファレンス論文集、pp.467-470 (1995)

付録 1. 障害者の生活環境へ福祉機器を適合化するために求められる機能

1. 安全性 . . . 装置機能の内容と動作を明確に示すための
視覚表示、音声表示など
2. 使いやすさ . . . 障害者の動作、生活習慣に合った操作性
(障害者の誤操作 (自然な動作に合った、迷わない順序の操作)
防止、疲労低減) ワンタッチ操作などシンプルな操作と装置か
らの入力に対する応答
(介護者の使いやすさ) 設置しやすさ、メンテナンス・調整の簡便さ
3. 使う人の感性に合致したデザイン
4. 優れた機能 . . . シンプルで高性能
5. 入手性 . . . 市場流通性、価格、共用品化

付録 2. アイコントローラ装置機能一覧

〔1〕 アイコントローラとは

この装置は、肢体不自由な方が視線の向きとまぶたの開閉で、コンピュータと対話し、身のまわりの電気製品を操作することができる福祉装置です。

〔2〕 主な特徴

- ・ 操作する人は、ゴーグル等特別のものを何ら装着する必要はありません。対話用のディスプレイモニタに向かい合い、数回ウイंकをすることで操作が始まります。
- ・ ビデオ、テレビ、信号灯、電話、音声メッセージ、ワープロ、扇風機等8種類、35項目の操作が可能です。メニュー項目のカスタム化は可能です。
- ・ 台座がベッドに潜り込む構造で、ベッドサイドへの設置を想定したモービル型(キヤスター付きで移動も自由)と、よりコンパクトで家庭での使用を考えて、ベッドサイドテーブルなどに取り付け可能な卓上型があります。

〔3〕 主な機能

- (1)基本機能：眼球領域、視線の水平方向の向き、まぶたの開閉状態のリアルタイム自動検出と追尾機能、これら検出信号に同期した画面制御と操作対象機器制御機能
- (2)画面操作機能：操作項目の絵柄表示と画面切り替えによる詳細項目の階層化表示、操作に視線を一致させるための項目のスクロール表示機能、撮像顔画像と装置動作状況の画面表示、ビデオ・テレビ・ワープロ・パソコン動画面の小画面表示機能(ピクチャー・イン・ピクチャー機能)
- (3)補助機能：一定時間の入力なし時の自動表示休止と復帰の待機機能
- (4)調整機能：操作者対応機能(視線向き、まぶた閉眼時間、閉眼条件、装置応答時間等)のプリセット機能
- (5)操作可能項目及び対象機器：(1)テレビ(チャンネル、音量)、(2)ビデオ(再生、停止、早送り、巻戻し)、(3)緊急電話(相手先、メッセージ登録自由)、(4)赤青黄

色の点滅ランプ操作、(5)介護者への音声メッセージ(登録自由)、(6)市販障害者用ワープロの操作、(7)パソコンの簡易操作(コンピュータ・マウス代替機能)、(8)扇風機等の交流100Vの電源スイッチ操作等

(6)電源仕様と装置の大きさ

電源電圧	A C 100 V
消費電力	5 0 0 W
本体外形寸法	47 × 72 × 55 cm (幅・高さ・奥行き)
ディスプレイスタンド外形寸法	105 × 155 × 58 cm (幅・高さ・奥行き)
ディスプレイスタンド重量	15 kg
ディスプレイ部外形寸法(突起部含まず)	29 × 23 × 24 cm (幅・高さ・奥行き)
ディスプレイ部重量	4 kg

以下に、装置設置例と操作画面例を示す。



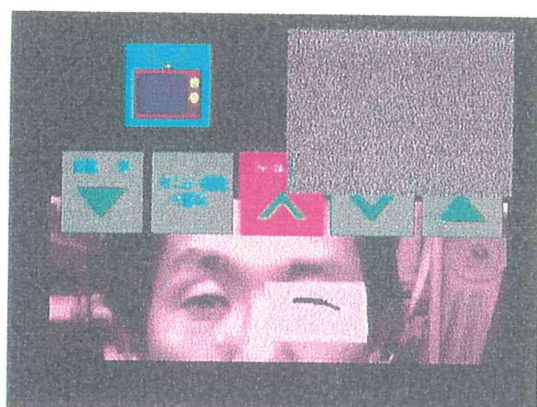
装置設置例



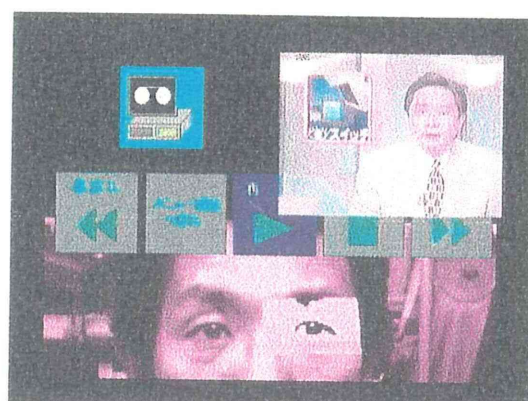
メインメニュー画面 - 1



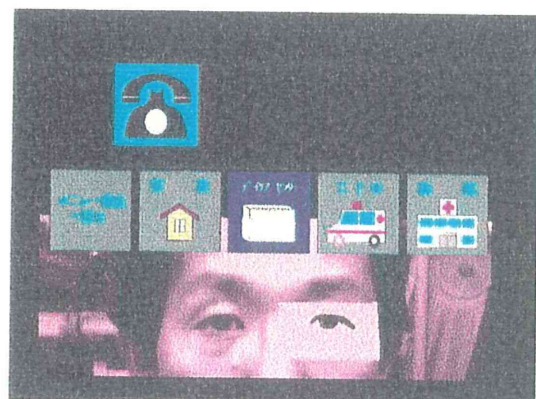
メインメニュー画面 - 2



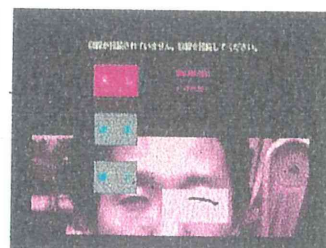
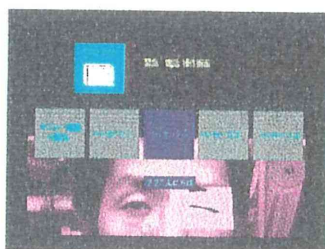
サブメニュー画面(テレビ)

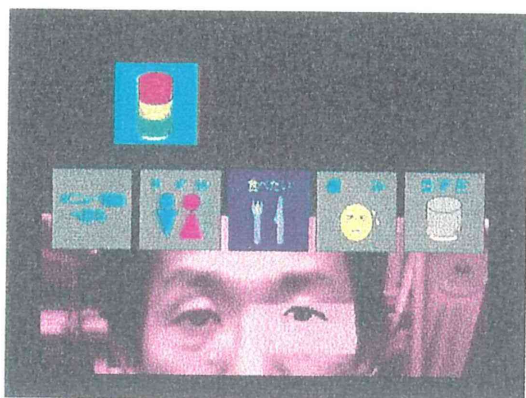


サブメニュー画面(ビデオ)

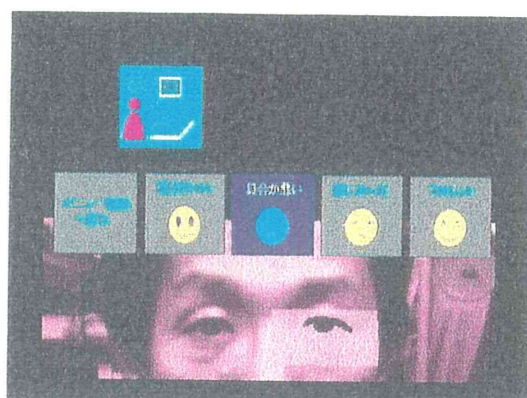


サブメニュー画面(緊急電話)

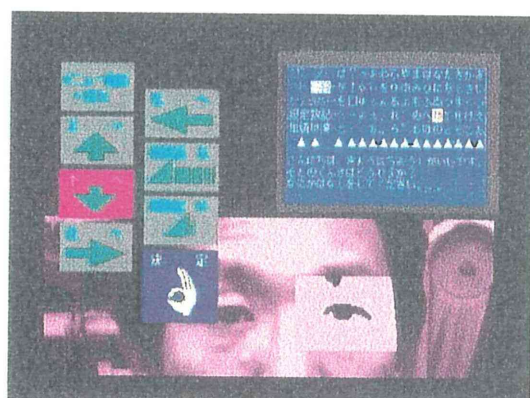




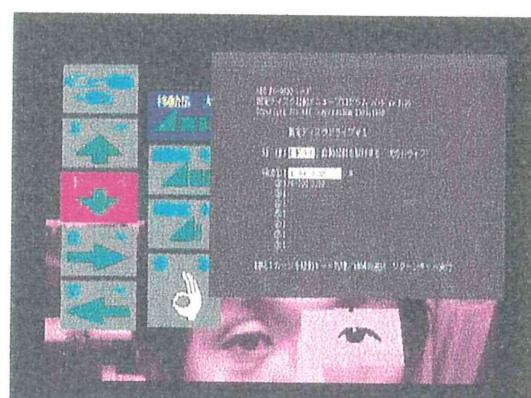
サブメニュー画面(シグナルランプ)



サブメニュー画面(音声メッセージ)



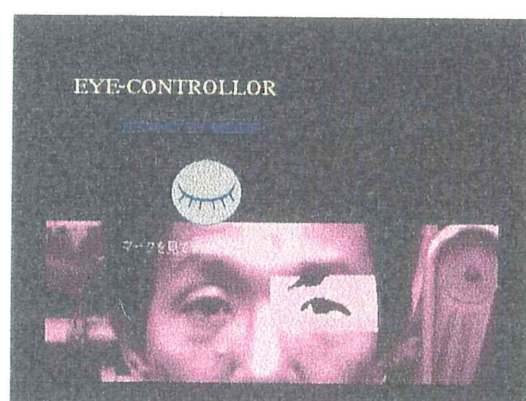
サブメニュー画面(ワープロ)



サブメニュー画面(マウス)



調整画面



待機モード画面

付録 3. 眼球運動を利用した環境制御装置の フィールドテスト評価結果の詳細

氏名	性別	年齢	障害の内容	操作結果
M. S	男	35	先天性ミオパケノ腰椎症、 脊椎変形による体幹機能障害 学習障害あり、疲れやすい	目の検知OK 右視線／左視線検知OK カーソル移動OK 閉眼による選択決定OK 操作OK(カーソル移動時間を調整)カーソル誤 操作あるが、決定誤り無し 操作課題 15秒、長くて40秒 使用時間 1時間程度 簡易ベッドで操作 疲れ具合：目はさほど疲れない手足が 利きづらいので便利
C. H.	女	33	1種1級 脳性麻痺による右上肢機能の全廃 及び両下肢左上肢機能著しい障害 及び両下肢左上肢機能著しい障害 車椅子使用、食事トイレ全面介助 要、頭の静止困難、閉眼動作に集 中力要	目の検知OK 右視線／左視線検知OK 及び両下肢左上肢機能著しい障害 カーソル移動OK 閉眼による選択決定OK 操作NG(目が検知領域を外れるため) 使用時間 1時間程度 車椅子で操作 疲れ具合：目はさほど疲れない姿勢が 疲れる 手足が利かないので便利
S. H.	男	34	1種1級 脳性麻痺による両右上下肢体幹機 能の著しい障害 電動車椅子使用、食事一部介助、 トイレ全面介助 発語障害、目を大きく開けること 困難(目細い)	目の検知OK 右視線／左視線検知OK カーソル移動OK 閉眼による選択決定OK 操作OK 使用時間 1時間程度 電動車椅子で操作 疲れ具合：目はさほど疲れない、姿勢が 疲れる 手足が利かないので便利
N. S.	男	31	健常者	目の検知OK

				右視線／左視線検知ＯＫ カーソル移動ＯＫ 閉眼による選択決定ＯＫ 操作ＯＫ カーソル誤操作無し、決定誤り無し 操作課題 11.7 秒 使用時間 2 時間程度 疲れ具合：姿勢が疲れる、椅子で操作、 簡易ベッドではほとんど疲れない
K. F.	男	3 4	健常者	目の検知ＯＫ 右視線／左視線検知ＯＫ カーソル移動ＯＫ 閉眼による選択決定ＯＫ 操作ＯＫ カーソル誤操作たまにあり、決定誤り無し 操作課題 17.0 秒 使用時間 2 時間程度 疲れ具合：姿勢が疲れる、椅子で操作
O. T.	男	3 9	健常者	目の検知ＯＫ 右視線／左視線検知ＯＫ カーソル移動ＯＫ 閉眼による選択決定ＯＫ 操作ＯＫ カーソル誤操作たまにあり、決定誤り無し 操作課題 16.6 秒 使用時間 2 時間程度 疲れ具合：姿勢が疲れる、椅子で操作

[感想]

- ・目はさほど疲れない、姿勢の方が疲れる。ベッドでの使用が適している。椅子で使用するならヘッドレストのある椅子がよい。
- ・ディスプレイが大きい方がよい。絵柄表示はよい。文字表示はやや見づらい。
- ・装置がもっとコンパクトならよい。
- ・操作対象項目が増えるとよい。ナースコール機能は必須。音声入力欲しい。
- ・慣れれば充分使える。
- ・ワープロ、音声出力の多項目可能化、ラジオ、電子錠、パソコン通信、テレビゲームを動かしたい。

付録 4. 顔が左右に向いたときに視線の向きを補正するための関係式の導出

図 1 に、顔が左向き 10 度、正面、右向き 10 度のときで、瞳中心の動きがどう変わるかを示す。

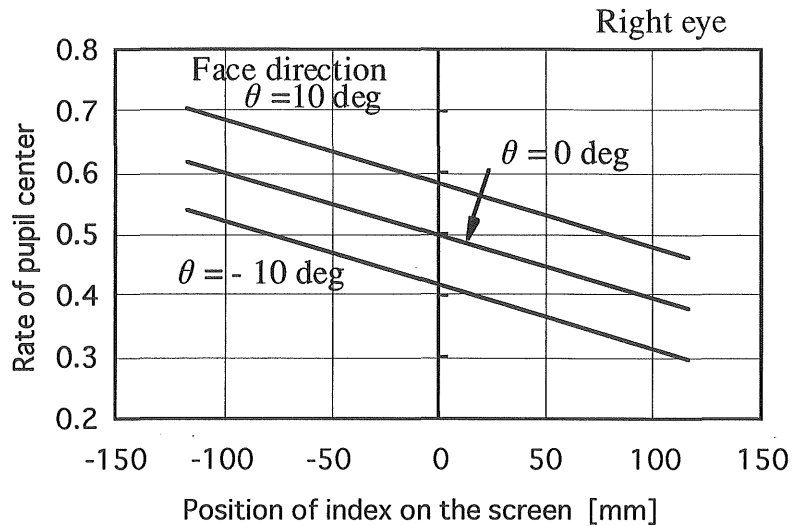


図 1 実験により求めた顔の向き角と視線の向きの関係

上記実験結果に基づき、視標をみる瞳の向きの補正の定式化として、次式を作成した。

$$X_M = (Z_c - l_c \cdot \sin \theta + l_f \cdot \cos \theta) \tan[\theta + \tan^{-1}\{(R_o - R_l) \cdot l_w / l_f\}] - (X_c + l_c \cdot \cos \theta + l_f \cdot \sin \theta)$$

ここで、

X_M : メニュー画面上の視標の位置 [mm]

X_c : 両目の中心点の X 座標値 [mm]

Z_c : 両目の中心点の Z 座標値 [mm]

θ : メニュー画面上の視標をみる左右方向の向き角 [deg]

l_c : 瞳中心から両目の中心までの距離 [mm]

l_f : 眼球の半径 [mm]

l_w : 目元から目尻までの距離 [mm]

R_o : 正面を見るときの瞳中心の位置(比率)

R : 瞳中心の位置(比率)

である。

付録 5. 3 個の L E D を付けた 頭部 姿勢 の 解析 解 の 導 出

Three LED marks on the camera coordinate is shown in Fig.1.

Suppose the position vectors marks are q_1, q_2, q_3 and projected points of these points are p_1, p_2, p_3 .

The following relation is obtained as

$$p_i = (x_{pi}, y_{pi}, f) \quad (i=1,2,3) \quad (1)$$

where x_{pi}, y_{pi} are coordinates on the image plane and f is the focal length.

The distance between each marks A_{12}, A_{23}, A_{31} are known in advanced.

The relation among $|q_1|, |q_2|$ and $|q_3|$ is expressed as following.

$$A_{12}^2 = |q_1|^2 + |q_2|^2 - 2|q_1||q_2|\cos\theta_{12} \quad (2)$$

$$A_{23}^2 = |q_2|^2 + |q_3|^2 - 2|q_2||q_3|\cos\theta_{23} \quad (3)$$

$$A_{31}^2 = |q_3|^2 + |q_1|^2 - 2|q_3||q_1|\cos\theta_{31} \quad (4)$$

where θ_{ij} is the angle between vector p_i and p_j , and is calculated by the following equation.

$$\cos\theta_{ij} = \frac{p_i \cdot p_j}{|p_i||p_j|} \quad (i, j = 1, 2, 3)$$

Once $|q_1|, |q_2|$ and $|q_3|$ are determined by the equations (2), (3) and (4), the position of marks is determined as following

$$q_i = k_i p_i \quad (i=1,2,3) \quad (5)$$

where k_i is the constant value.

Equations (2),(3) and (4) yields eight solutions. Considering the geometry of three marks that the position of mark Q_1 is always located in front of the other two marks Q_2 and Q_3 , the desired solution can be determined uniquely as follows.

Firstly, estimate initial value $|q_1|$ as L ($L>0$). Equation (2) becomes

$$|q_2| = L \cos\theta_{12} + \sqrt{(L \cos\theta_{12})^2 - (L^2 - A_{12}^2)} \quad (6)$$

From the geometry that $|q_2| > L$ we obtain similarly equation (4) becomes

$$|q_3| = L \cos\theta_{31} + \sqrt{(L \cos\theta_{31})^2 - (L^2 - A_{31}^2)} \quad (7)$$

Substitution of equations (6), into (3) gives

$$|q_2|^2 + |q_3|^2 - 2|q_2||q_3|\cos\theta_{23} - A_{23}^2 = 0 \quad (8)$$

Estimated value L can be evaluated by the following relation.

$$||q_2|^2 + |q_3|^2 - 2|q_2||q_3|\cos\theta_{23} - A_{23}^2| < \varepsilon \quad (9)$$

where ε is the positive parameters to determine accuracy of the solution. If the above relation is not satisfied, estimated value L is modified. The above procedures are repeated until the equation (9) is satisfied.

Once the three-dimensional position of marks are determined, the posture and the position of operator's head is calculated.

付録 6. ヒューリスティックなアルゴリズムによる 場合の 3 個の LED を付けた頭部姿勢の解析 解の導出

Each view angle from the optical axis for LED1, LED2 and LED3 is described in the following.

$$\tan \vartheta_F = \frac{l \sin \alpha + d}{L + s - l \cos \alpha} \quad (1)$$

$$\tan \vartheta_L = \frac{-l \cos \alpha + d}{L + s - l \sin \alpha} \quad (2)$$

$$\tan \vartheta_R = \frac{l \cos \alpha + d}{L + s + l \sin \alpha} \quad (3)$$

where θ_F [deg] is the angle for LED2 from the optical axis, θ_L [deg] is the angle for LED3 and θ_R [deg] is the angle for LED1, α [deg] is the azimuth angle of the operator. l [mm] is the half length between LED1 and LED2, d [mm] is the shift length from the point on the optical axis, L [mm] is the distance between the focus point and the point C, s [mm] is the shift length on the u axis.

Suppose that $l, s \ll L$, $\sin \alpha \cong \alpha$, $\cos \alpha \cong 1$, $\tan \alpha \cong \alpha$, the following approximations are obtained.

$$\tan \vartheta_F = \frac{l\alpha + d}{L} \quad (4)$$

$$\tan \vartheta_L = \frac{-l + d}{L} \quad (5)$$

$$\tan \vartheta_R = \frac{l + d}{L} \quad (6)$$

Point U_c on the image plane is given in the following.

$$\begin{aligned} U_c &= m \cdot \frac{\tan \vartheta_L + \tan \vartheta_R}{2} \\ &= \frac{m}{2} \left(\frac{-l + d}{L} + \frac{l + d}{L} \right) = \frac{m \cdot d}{L} \end{aligned}$$

where (5) and (6) are substituted, U_c is the u coordinate of point C on the image plane and m is const.

$$\begin{aligned} L_1 &= U_{LED2} - U_c \\ &= m \cdot \left(\tan \vartheta_F - \frac{\tan \vartheta_L + \tan \vartheta_R}{2} \right) \\ &= m \cdot \left(\frac{l\alpha + d}{L} - \frac{-l + d}{2L} - \frac{l + d}{2L} \right) = \frac{m \cdot l\alpha}{L} \end{aligned}$$

where U_{LED2} is the point projected LED2 on the u axis on the image plane.

Therefore U , u coordinate position of the cursor on the display monitor is described in the following.

$$\begin{aligned}
 U &= m_1 \cdot \tan \alpha + m_2 \cdot U_C \\
 &\cong m_1 \cdot \alpha + m_2 \cdot U_C \\
 &= m_1 \cdot \frac{LL_1}{ml} + m_2 \cdot U_C
 \end{aligned}$$

where L_1 is the length between the point projected LED2 on the u axis and the point C on the image plane, m_1, m_2 are const.

$$U = k_1 \cdot L_1 + k_2 \cdot U_C$$

where k_1, k_2 are const. The second term means the position of the middle of the glasses on the display monitor, we select this point as the standard point.

